

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут телекомунікаційних систем

Кафедра Телекомунікаційних систем

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Л.О. Уривський

«___» _____ 20__ р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

**з напрямку підготовки 6.050903 Телекомунікації
(172 Телекомунікації та радіотехніка)**

**на тему: «Дослідження технологій безпроводових сенсорних мереж з
інфокомунікаційними наземними вузлами у зоні надзвичайної ситуації»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ТС-51

Яцишин Олександр Вадимович

Керівник:

завідувач кафедри ТС, д.т.н., професор

Уривський Л.О.

Рецензент:

доцент кафедри ІТМ, к.т.н., доцент

Правило В.В.

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут телекомунікаційних систем
Кафедра Телекомунікаційних систем

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки – 6.050903 «Телекомунікації» (172 Телекомунікації та радіотехніка)

Програма професійного спрямування – «Телекомунікаційні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Л.О. Уривський

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Яцишину Олександрю Вадимовичу

1. Тема роботи «Дослідження технологій безпроводових сенсорних мереж з інфокомунікаційними наземними вузлами у зоні надзвичайної ситуації», керівник роботи Уривський Леонід Олександрович, д.т.н, професор, затверджені наказом по університету від «___» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: інформаційні матеріали про безпроводові технології сенсорних мереж. Структурований план порядку розробки матеріалів дипломної роботи.

4. Зміст роботи

Обґрунтувати актуальність теми. Провести аналіз використання засобів телекомунікацій та дослідити проблематику створення безпроводових сенсорних мереж у зонах надзвичайних ситуацій. Розглянути особливості використання технологій безпроводових сенсорних мереж. Внести свої

пропозиції щодо реалізації безпроводових сенсорних мереж в зоні надзвичайної ситуації.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо):

- 1) Тема, мета та завдання дипломної роботи;
- 2) Особливості забезпечення зв'язку інфокомунікаційними наземними вузлами у зоні надзвичайної ситуації;
- 3) Типові топології безпроводових сенсорних мереж та їх аналіз;
- 4) Пропозиції щодо реалізації безпроводової сенсорної мережі з інфокомунікаційними наземними вузлами;
- 5) Практична реалізація безпроводової сенсорної мережі
- 6) Висновки та рекомендації;

6. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Обґрунтування актуальності дослідження безпроводових сенсорних мереж у зоні надзвичайної ситуації	13.04.2019	Викон.
2	Аналіз особливостей використання сучасних технологій безпроводових сенсорних мереж у зоні надзвичайної ситуації	04.05.2019	Викон.
3	Пропозиції щодо реалізації безпроводової сенсорної мережі з інфокомунікаційними наземними вузлами у зоні надзвичайної ситуації	25.05.2019	Викон.
4	Вступ, висновки	30.05.2019	Викон.
5	Чистовий варіант дипломної роботи, плакати	08.06.2019	Викон.

Студент

Яцишин О.В.

Керівник роботи

Уривський Л.О.

РЕФЕРАТ

Тема роботи: дослідження технологій безпроводових сенсорних мереж з інфокомунікаційними наземними вузлами у зоні надзвичайної ситуації.

Текстова частина дипломної роботи: 75с., 10 рис., 9 табл., 34 джерела.

Мета роботи — дослідити основні технології безпроводових сенсорних мереж, провести аналіз їх використання в зоні надзвичайної ситуації та внести пропозиції щодо реалізації безпроводових сенсорних мереж у зоні надзвичайної ситуації.

В даній роботі здійснюється опис і проводиться аналіз вибору безпроводових технологій, які мають суттєві переваги та можуть використовуватися в сенсорних мережах у зоні надзвичайної ситуації, досліджуються та наводяться пропозиції щодо технічної реалізації безпроводових сенсорних мереж.

Безпроводова сенсорна мережа, безпроводова технологія, IEEE 802.11, IEEE 802.15.1, IEEE 802.15.4, Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, топологія мереж.

ABSTRACT

The purpose of the work is to explore the main technologies of wireless sensor networks, to analyze their use in the emergency area and to make suggestions for the implementation of wireless sensor networks in the emergency area.

In this work, is carried out the description and analysis of the selection of the wireless technologies that have significant advantages and can be used in sensory networks in the emergency zone, the wireless sensor network is being developed and suggestions on the technical implementation of wireless sensor networks are provided.

Wireless sensor network, wireless technology, IEEE 802.11, IEEE 802.15.1, IEEE 802.15.4, Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, network topology.

3MICT

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП	10
1 ОБҐРУНТУВАННЯ АКТУАЛЬНОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ У ЗОНІ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ.....	15
1.1 Аналіз особливостей використання безпроводових сенсорних мереж у зоні надзвичайної ситуації.....	15
1.1.1 Характеристика умов використання засобів телекомунікацій в зоні надзвичайної ситуації.....	15
1.1.2 Загальні технологічні риси безпроводових сенсорних мереж.....	19
1.1.3 Обґрунтування потреби використання інфокомунікаційних наземних вузлів для створення безпроводових сенсорних мереж в зоні надзвичайної ситуації.....	23
1.2 Аналіз проблематики створення безпроводових сенсорних мереж у зоні надзвичайної ситуації.....	26
1.3 Висновок з розділу 1	28
2 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ В ЗОНІ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ.....	30
2.1 Порівняльний аналіз технологій передавання даних, які використовуються в сенсорних мережах	30
2.2 Особливості вибору технології передавання даних для дослідженої безпроводової сенсорної мережі у зоні надзвичайної ситуації	45
2.3 Висновок з розділу 2	48
3 ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО РЕАЛІЗАЦІЇ БЕЗПРОВОДОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ З ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИМИ НАЗЕМНИМИ ВУЗЛАМИ У ЗОНІ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ.....	50
3.1 Обґрунтування топології безпроводових сенсорних мереж	50

					НТУУ1068-с.11.ТС-51.2019ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Дослідження технологій безпроводових сенсорних мереж з інфокомунікаційними наземними вузлами у зоні надзвичайної ситуації	Літ.	Арк.	Акрушів			
Розроб.		Яцишин О.В.									
Перевір.		Уривський Л.О.					6	75			
Реценз.		Правило В.В.				ІТС					
Н. Контр.		Новіков В.І.									
Затверд.		Уривський Л.О.									

3.1.1 Фізична топологія проектованої безпроводової сенсорної мережі.....	55
3.1.2 Розрахунок зони покриття проектованої безпроводової сенсорної мережі.....	57
3.1.3 Логічна топологія проектованої безпроводової сенсорної мережі.....	59
3.2 Пропозиції щодо технічної реалізації безпроводової сенсорної мережі.....	60
3.2.1 Обґрунтування складу обладнання, яке використовується в мережі.....	60
3.2.2 Обґрунтування послідовності налаштування маршрутизуючого, ретрансляційного обладнання та сенсорів.....	64
3.3 Результати практичної реалізації безпроводової сенсорної мережі в польових умовах.....	66
3.4 Рекомендації щодо модернізації досліджуваної мережі	68
3.5 Висновок з розділу 3	70
ВИСНОВКИ.....	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	73

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

AES	Advanced Encryption Standard
BPSK	Binary Phase-Shift Keying
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
FFD	Full Functional Device
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
GFSK	Gaussian Frequency-Shift Keying
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISM	Industrial, Scientific and Medical
MIMO	Multiple Input Multiple Output
NCD	Network Coordination Device
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
OSI	Open Systems Interconnection
PoE	Power over Ethernet
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying
RAM	Random Access Memory
RFD	Reduced Function Device
SS	Spatial Stream
SSID	Service Set Identifier
STP	Shielded Twisted Pair
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
UTP	Unshielded Twisted Pair
UWB	Ultra-Wide Band
VHT	Very High Throughput
WEP	Wired Equivalent Privacy
WLAN	Wireless Local Area Network

WPA	Wi-Fi Protected Access
WPS	Wi-Fi Protected Setup
WPAN	Wireless Personal Area Network
ZC	ZigBee Coordinator
ZED	ZigBee End Device
ZR	ZigBee Router

ВСТУП

Життя в сучасному світі характеризується високим рівнем технічного розвитку у всіх галузях людської діяльності. Розвиток промисловості в різних сферах – хімічна, енергетична, металургійна, військова тощо поряд з перевагами та модернізацією життя також носить великий ризик у випадку різних непередбачуваних обставин. Також різні надзвичайні природні ситуації, військові та терористичні дії спричиняють різного роду надзвичайні ситуації.

Термін «надзвичайна ситуація» чітко визначений в Кодексі цивільного захисту України: «надзвичайна ситуація - обстановка на окремій території чи суб'єкті господарювання на ній або водному об'єкті, яка характеризується порушенням нормальних умов життєдіяльності населення, спричинена катастрофою, аварією, пожежею, стихійним лихом, епідемією, епізоотією, епіфітотією, застосуванням засобів ураження або іншою небезпечною подією, що призвела (може призвести) до виникнення загрози життю або здоров'ю населення, великої кількості загиблих і постраждалих, завдання значних матеріальних збитків, а також до неможливості проживання населення на такій території чи об'єкті, провадження на ній господарської діяльності. Зона надзвичайної ситуації - окрема територія, акваторія, де сталася надзвичайна ситуація» [1].

Останні події в нашій країні, а також загалом у світі вимагають оперативного реагування на подібні надзвичайні ситуації. Від своєчасності та доступності для населення системи сповіщення залежить, як швидко буде надана допомога. Знову ж таки, з Кодексу цивільного захисту України: «оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій забезпечується шляхом централізованого використання телекомунікаційних мереж загального користування, у тому числі мобільного (рухомого) зв'язку, відомчих телекомунікаційних мереж і телекомунікаційних мереж суб'єктів господарювання в порядку, встановленому Кабінетом Міністрів України, а

також мереж загальнонаціонального, регіонального та місцевого радіомовлення і телебачення та інших технічних засобів передавання (відображення) інформації» [1].

Проте у певних ситуаціях телекомунікаційні мережі загального користування можуть бути непридатними для використання на окремих територіях, де сталася надзвичайна ситуація (наприклад, внаслідок захоплення ворожими силами або зруйнування природними умовами центральних вузлів). Також з кожним роком все менше і менше людей користуються приймачами радіомовлення, а також традиційним телебаченням, через які відбуваються оповіщення про надзвичайні ситуації. У протиполог цього значними темпами, починаючи з кінця 20-го століття, розвивається Інтернет. За останніми соціологічними опитуваннями, більше половини населення світу користується Інтернетом, а в розвинутих країнах дана кількість перевищує 80% і постійно зростає.

Також бездротові сенсорні мережі можуть використовуватися в пошукових операціях в зонах надзвичайних ситуацій, а також у важкодоступних місцевостях, наприклад, при масштабній лісовій пожежі, повенях.

Саме тому в даній роботі проводиться дослідження технологій безпроводових сенсорних мереж, які можуть стати альтернативою існуючим на теперішній день системам оповіщення про виникнення надзвичайного стану, а також використовуватися в якості пошукових систем у зонах надзвичайних ситуацій. Швидкість та простота розгортання, а також можливість працювати в автономному режимі тривалий час є значною перевагою безпроводових сенсорних мереж. Також за допомогою підключення безпроводової сенсорної мережі до глобальної мережі Інтернет можлива передача зібраної інформації в зовнішній світ для оперативного інформування.

Проте бездротові сенсорні мережі можуть використовуватися не лише в зонах надзвичайних ситуацій. На сьогоднішній день концепція бездротових

сенсорних мереж є дуже актуальною і привертає увагу багатьох вчених, дослідницьких інститутів і комерційних організацій. Даний тип мереж привабливий тим, що може широко застосовуватися в різних сферах життя.

Завдяки своїм перевагам, для прикладу, таким як оперативність і економічність розгортання, тривала робота в автономному режимі без необхідності в техобслуговуванні, надійність і відмовостійкість в жорстоких умовах експлуатації, бездротові сенсорні мережі, можуть використовуватися в багатьох галузях сучасного життя. Для прикладу, можна розглянути такі сфери застосування сенсорних мереж:

- системи охорони і контролю доступу – моніторинг місцевості і посилення стаціонарних рубежів охорони, контроль маршрутів пересування людей; раннє виявлення аварій; протипожежна система;
- автоматизація будівель – система контролю доступу і запобігання аварійних ситуацій; бездротові датчики для різноманітних систем «Розумного будинку»; управління освітленням, кліматом, домашньою електронікою;
- воєнне застосування – бездротові самоорганізовані мережі передачі даних; швидкорозгортані охоронні системи; системи телеметричного контролю;
- віддалений збір показників з лічильників – віддалений збір показів з різноманітних видів лічильників, реєстраторів; контроль і регулювання витрат ресурсів;
- телемедицина і охорона здоров'я – моніторинг основних показників медичної телеметрії (тиск, пульс, температура); контроль прийому лікарських засобів;
- діагностика промислового обладнання – дистанційний технічний нагляд і профілактичне обслуговування обладнання; контроль ефективного використання обладнання.

Засоби бездротового підключення забезпечують найбільший рівень мобільності у порівнянні з будь-якими іншими засобами. Тому число пристроїв, які підтримують бездротове підключення, росте з кожним днем. Відповідно до цього зростає актуальність дослідження і побудови мереж, які базуються на бездротовому підключенні.

Отже, метою даної роботи є проведення аналізу роботи безпроводових сенсорних мереж та внесення нових пропозицій щодо їх технічної реалізації, дослідження основних безпроводових технологій, які можуть використовуватися в сенсорних мережах. Об'єктом дослідження моєї роботи є безпроводова сенсорна мережа, предметом – особливості технічної реалізації безпроводової сенсорної мережі.

Основними завданнями даної роботи є наступні:

- аналіз проблематики створення безпроводових сенсорних мереж у зоні надзвичайної ситуації,
- дослідження основних технологій безпроводових сенсорних мереж та обґрунтування вибору однієї із них,
- обґрунтування пропозицій та технічна реалізація експериментальної бездротової сенсорної мережі,
- внесення пропозицій по модернізації безпроводових сенсорних мереж у зоні надзвичайної ситуації.

Робота складається з трьох розділів. В першому розділі проводиться обґрунтування актуальності дослідження безпроводових сенсорних мереж у зоні надзвичайної ситуації, а також проводиться аналіз особливостей їх використання в зоні надзвичайної ситуації. В другому розділі досліджуються особливості використання сучасних безпроводових технологій в сенсорних мережах у зоні надзвичайної ситуації і пропонується одна з технологій, яка найбільше підходить для використання. В третьому розділі проводиться аналіз топологій, які використовуються в сенсорних мережах, а також опис

процесів технічної реалізації експериментальної безпроводової сенсорної мережі і внесені пропозиції щодо її модернізації.

1 ОБҐРУНТУВАННЯ АКТУАЛЬНОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ У ЗОНІ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ

1.1 Аналіз особливостей використання безпроводових сенсорних мереж у зоні надзвичайної ситуації

1.1.1 Характеристика умов використання засобів телекомунікацій в зоні надзвичайної ситуації

Характерною особливістю природної або техногенної катастрофи, які спричиняють виникнення надзвичайної ситуації, є непередбачуваність, раптовість, дуже швидке поширення, випадковість ураження об'єктів в осередку надзвичайної ситуації. Не завжди можна передбачити, на якій саме території виникне надзвичайна ситуація. Несприятливий вплив техногенного, природного, соціального, терористичного характеру можуть призвести до відмов в обслуговуванні користувачів телекомунікаційних послуг. Основним завданням системи зв'язку є подолання надзвичайної ситуації і організація сповіщення населення.

Можливі декілька видів надзвичайних ситуацій: надзвичайні ситуації техногенного, природного, соціального та воєнного характеру. Розглянемо вплив кожної з цих надзвичайних ситуацій на роботу телекомунікаційних систем.

Надзвичайні ситуації техногенного характеру виникають внаслідок аварій, які відбуваються з транспортом, заводами, енергетичними об'єктами, обчислювальними спорудами і зумовлені саме технічними причинами.

Надзвичайні ситуації природного характеру виникають внаслідок непередбачуваних екстремальних погодних умов. До наступних належать землетруси, екстремальні коливання температури, різні опади тощо.

Надзвичайні ситуації соціального характеру зумовлені насамперед несанкціонованими діями людських мас, направленими на блокування важливих соціальних об'єктів, до числа яких також відносяться телекомунікаційні вузли.

Надзвичайні ситуації військового – це військовий вплив однієї держави, терористичних організацій на іншу державу, або частину її території.

В контексті розгляду впливу надзвичайних ситуацій на функціонування засобів телекомунікацій умовно можна об'єднати надзвичайні ситуації техногенного характеру з надзвичайними ситуаціями природного характеру, а також надзвичайні ситуації соціального характеру з надзвичайними ситуаціями військового характеру.

Перші виникають внаслідок природних або технічних збоїв і можуть призвести швидше до повного або часткового виходу з ладу окремих телекомунікаційних об'єктів на території, де виникла надзвичайна ситуація. Часто внаслідок природних або техногенних аварій спостерігаються проблеми з перебоями або періодичним відключенням електроенергії, що в свою чергу може спричинити вимкнення телекомунікаційного обладнання, якому необхідне безперебійне енергоспоживання. Як вирішення проблеми на важливих телекомунікаційних вузлах встановлюються джерела безперебійного живлення (ДБЖ), які на певний час (як правило – не дуже тривалий) дозволяють підключеному обладнанню працювати від акумуляторів ДБЖ. Альтернативним шляхом вирішення проблеми є варіанти з резервуванням, тобто при виході одного вузла з ладу, інформаційні потоки будуть направлятися на інший, в обхід ушкодженої ділянки. Ці ситуації повинні моделюватися на етапі планування мережі, проте не завжди вони використовуються, внаслідок недостатнього матеріального забезпечення постачальника телекомунікаційних послуг. Зазвичай, після усунення надзвичайної ситуації постачання електроенергії відновлюється і телекомунікаційне обладнання продовжує роботу в штатному режимі.

Іншою проблемою є вихід з ладу телекомунікаційного обладнання внаслідок його фізичного пошкодження через природні або техногенні аварії. При виникненні такої ситуації на місце повинна прибути ремонтна бригада для виконання ремонтних робіт по відновленню постачання послуг. Проте зазвичай бригада може прибути на місце тільки після усунення надзвичайної ситуації, що деколи може зайняти дуже тривалий час, тому більш доцільним є використовувати більш стійке до зовнішніх впливів обладнання. Наприклад, якщо виникла надзвичайна ситуація, пов'язана з рясними опадами, то обладнання повинне бути стійким до проникнення води, якщо буревій – повинні бути надійно закріплені і захищені від фізичних пошкоджень внаслідок потрапляння сторонніх важких предметів. Також такі техногенні аварії, як хімічна або радіаційна супроводжуються викидом в навколишнє середовище різних небезпечних елементів, які несуть загрозу не тільки людському життю, а й можуть спричинити вихід з ладу важливих телекомунікаційних об'єктів. При аваріях такого характеру вкрай важливим є надійне функціонування телекомунікаційних об'єктів для вчасного сповіщення населення і збереження людських життів. Для надійного функціонування обладнання воно повинно бути стійким та захищеним від шкідливих хімічних та радіаційних впливів на достатній час від виникнення надзвичайної ситуації і аж до повної евакуації населення, або повного усунення можливих ризиків. Також як і в попередньому випадку повинні бути передбачені шляхи резервування.

У випадку надзвичайних ситуацій техногенного або природного характерів у разі неспроможності традиційних видів телекомунікацій забезпечити ефективну роботу системи сповіщення для населення потрібно розглянути додаткові варіанти сповіщення населення. Для цього завдання чудово можуть підійти бездротові сенсорні мережі. Сенсорна мережа необхідно забезпечити всіма видами захисту у випадку природніх чи техногенних аварій. Вузли повинні бути водонепроникними, термостійкими, надійно кріпитися до опор, матеріал з якого виконуються всі частини

мережі – від звичайного сенсора до опорних споруд, повинен виконуватися із якісного матеріалу, який може працювати в найбільш суворих умовах. Також персонал, який розгортає дані сенсорні мережі повинен бути ознайомлений з кожним елементом мережі і бути готовим в найкоротші терміни здійснити встановлення і введення в експлуатацію цієї мережі, а також мати в наявності всі необхідні складові частини для розгортання мережі. В загальному час випадку виконання всіх дій в умовах надзвичайної ситуації і введення мережі в експлуатацію не повинен перевищувати 10-15 хвилин. До завдань персоналу повинно входити встановлення маршрутизуючого обладнання з антенами (зазвичай, на певній висоті від поверхні землі на щоглі, яка міцними опорами з тросами кріпиться до стійких поверхонь на землі, або в саму землю), а також всіх необхідних сенсорів з відповідними датчиками, в залежності від ситуації, яка виникла. Ці сенсори за допомогою бездротових технологій повинні одразу підключатися в єдину мережу. Кількість маршрутизаторів (також можна сказати – зон покриття) повинна залежати від площі території, з якої повинен відбуватися збір інформації, а також мережа повинна бути легко масштабованою, тобто, щоб при необхідності можна було підключити ще один чи кілька маршрутизаторів зі своїми сенсорами без негативного впливу на роботу мережі в загальному. Один із маршрутизаторів повинен виконувати роль шлюза і з'єднувати всю мережу із зовнішнім світом, чи з відповідними відділами, які будуть координувати або населення того, щоб повідомити послідовність їх дій, або рятівні бригади для виявлення і ліквідування проблеми. Така мережа повинна безперебійно виконувати свої функції протягом того часу який необхідний для усунення всіх наслідків надзвичайної ситуації і повного відновлення існуючих телекомунікаційних структур.

У випадку, якщо неможливо встановити інфокомунікаційні вузли безпосередньо на землі, вони можуть знаходитися на повітряних об'єктах, і вже звідти виконувати ті ж функції.

Також бездротова сенсорна мережа може виконувати іншу функцію – попередження про надзвичайну ситуацію на потенційно небезпечних об'єктах. В такому випадку вона повинна бути попередньо розгорнута на території заводу і перебувати в постійній роботі, неважливо чи є надзвичайна ситуація, чи ні. Для прикладу, ця сенсорна мережа може бути обладнана датчиками, які реагують на підвищення вмісту небезпечних хімічних елементів у повітрі, сповіщають про це відповідним службам, і, таким чином, запобігають виникненню небезпечних аварійних ситуацій.

Вплив надзвичайних ситуацій соціального, а також надзвичайних ситуацій військового характеру на телекомунікаційні об'єкти зазвичай однаковий – або захоплення центральних телекомунікаційних вузлів, і, в результаті повний контроль телекомунікаційних систем для власних цілей, або їх фізичне знищення, яке унеможлиблює будь-який контроль державними структурами над інформатизацією населення. І в тому, і в іншому випадках телекомунікаційні об'єкти повинні бути надійно захищеними від агресивних, можливо навіть збройних дій противниками.

1.1.2 Загальні технологічні риси безпроводових сенсорних мереж

Бездротова сенсорна мережа (Wireless Sensor Network) – це мережа, яка складається з великої кількості мініатюрних вузлів (сенсорів), які містять в собі приймально-передавальні пристрої, мікропроцесори і поєднанні між собою радіоканалом. Область покриття такої мережі може складати від декількох квадратних метрів до декількох квадратних кілометрів.

Телекомунікаційна мережа – це набір термінальних вузлів, об'єднаних каналами зв'язку, які здатні забезпечувати передачу та приймання інформації один з одним по певному фізичному середовищі.

Фізичне середовище передачі електричних сигналів – це простір або матеріал, через який поширюються електромагнітні хвилі. В якості фізичного середовища передачі електричних сигналів можуть використовуватися:

- Проводові (повітряні) лінії зв'язку представляють собою проводи без яких-небудь ізолюючих або екрануючих опліток, які прокладені між стовпами і висять в повітрі. Ще не так давно такі лінії зв'язку були основними для передачі телефонних або телеграфних сигналів. Сьогодні проводові лінії зв'язку швидко витісняються кабельними. Незважаючи на це вони продовжують використовуватися в певних місцях, зокрема там, де немає можливості передавати дані іншим шляхом. Швидкісні якості і завадостійкість таких ліній залишають бажати кращого.
- Кабельні лінії мають достатньо складну конструкцію. Кабель складається із провідників, укладених в декілька шарів ізоляції: електричної, електромагнітної, механічної і, можливо, кліматичної. Крім того, кабель може бути обладнаний роз'ємами, які дозволяють швидко виконувати під'єднання до нього різноманітного обладнання. В телекомунікаційних мережах застосовуються три основних типи кабелю: кабелі на основі скручених пар мідних проводів – неекранована вита пара - Unshielded Twisted Pair (UTP) і екранована вита пара – Shielded Twisted Pair (STP), коаксіальні кабелі з мідною жилою, волоконно-оптичні кабелі. Перші два типи кабелів називають також мідними кабелями.
- Радіоканали наземного і супутникового зв'язку утворюються за допомогою передавача і приймача радіохвиль. Існує велика різноманітність типів радіоканалів, які відрізняються як використанням частотним діапазоном, так і дальністю каналу. Бездротова канали використовуються частіше всього в тих випадках, коли кабельні лінії зв'язку застосувати неможливо, наприклад при проходженні каналу через малозаселену місцевість або ж для зв'язку з мобільними користувачами мережі.

Бездротова, в прямому сенсі цього слова, означає, що вузли мережі поєднані між собою не будь-яким видом кабелю – коаксіальний, вита пара, оптичний, а безпосередньо радіосередовищем, передаючи дані між собою однією з технологій бездротової передачі даних. При використанні бездротових пристроїв дані передаються за допомогою радіохвиль. Засоби бездротового підключення забезпечують передачу двійкових розрядів даних у виді електромагнітних сигналів радіочастотного або мікрохвильового діапазонів. Кожен вузол оснащується антеною, яка одночасно являється передавачем і приймачем електромагнітних хвиль. Електромагнітні хвилі поширюються в вільному просторі або вакуумі зі швидкістю світла - $3 \cdot 10^8$ м/с у всіх напрямках або ж в межах певного сектору, незалежно від частот цих хвиль. Спрямованість чи неспрямованість поширення електромагнітних хвиль залежить від типу антени.

В засобах зв'язку, пристроях Bluetooth, Wi-Fi, WiMAX використовується мікрохвильове випромінювання малої інтенсивності. Довжина хвилі в цьому діапазоні складає від 30 сантиметрів, до 1 міліметра. Мікрохвилі поширюються лише по прямій, а також на відміну від радіохвиль, у яких діапазон частот більш низький, погано проходять повз будівлі. Тому при віддаленні антен однієї від іншої на їх шляху можуть виникати певні перешкоди. Через це необхідно, щоб ретрансляційне обладнання знаходилося на певній висоті відносно землі, щоб уникнути частини перешкод.

Також при частотах вище 4 ГГц з'являється ще одна проблема: поглинання водою. Довжина хвиль при таких частотах складає всього декілька сантиметрів, і такі хвилі сильно поглинаються дощем.

Бездротове середовище має ряд особливостей, які варто враховувати при проектуванні мережі, а саме:

- Зона покриття. Бездротові технології передачі даних добре працюють на відкритих місцевостях. Проте умови місцевості, а також споруди, які

знаходяться між бездротовими вузлами можуть обмежувати зони покриття.

- Завади. Якість бездротових з'єднань вразлива до завад і може погіршуватися при роботі інших бездротових пристроїв, а також інших бездротових комунікацій.
- Безпека. Для доступу до середовища бездротового підключення не потрібно підключатися до фізичних кабелів. Тому доступ до цього середовища можуть отримувати несанкціоновані користувачі і пристрої. Відповідно, одним із головних аспектів проектування і адміністрування бездротової мережі є безпека.
- Спільний доступ до засобу підключення. Бездротові мережі працюють в напівдуплексному режимі, що означає, що в кожний момент часу передачу або прийом може здійснювати тільки один пристрій. Засоби бездротового підключення спільно використовують усі вузли. Чим більша кількість вузлів одночасно підключені в одну бездротову мережу, тим менша пропускна здатність приходить на кожного із них.

Сам сенсор представляє собою плату, яка, зазвичай, має розміри не більше одного кубічного дюйму. На цій платі розташовані процесор, оперативна та флеш-пам'ять, цифро-аналогові і аналогово-цифрові перетворювачі, радіочастотний прийомопередавач, джерело живлення та датчики. В залежності від функцій, які покладаються на сенсорні мережі, можуть використовуватися різного виду датчики. Найчастіше використовуються датчики температури, вологості, освітленості, тиску, вібрації, звуку, хімічні датчики (наприклад, для вимірювання вмісту небезпечних газів в повітрі). Датчики підключаються до плати через цифрові та аналогові конектори. Живлення сенсорів здійснюється через невеликі батареї, які кріпляться на корпусі, вони повинні забезпечувати автономну роботу на тривалий час без підзарядки або заміни (частіше всього, заміна

батареї взагалі неможлива). В зв'язку з цим сенсори здійснюють тільки збір, первинну обробку, яка орієнтована на зменшення об'єму інформації, яку необхідно передати і, що найголовніше – мінімізація числа циклів прийому і передачі даних на наступний вузол – шлюз. Для вирішення цієї задачі розроблені спеціальні комунікаційні протоколи передачі даних, які надають можливість на тривалу роботу мережевих пристроїв від автономних джерел живлення. Передача даних між сенсорами та між сенсорами і шлюзом відбувається за допомогою вбудованого радіочастотного прийомопередавача. На рисунку 1.1 зображений приклад сенсору з вбудованим радіочастотним прийомопередавачем, який може використовуватися в безпроводовій сенсорній мережі.



Рисунок 1.1 Приклад сенсору з вбудованим радіочастотним прийомопередавачем.

1.1.3 Обґрунтування потреби використання інфокомунікаційних наземних вузлів для створення безпроводових сенсорних мереж в зоні надзвичайної ситуації

На сьогоднішній день тенденції розвитку як засобів обробки і розподілення інформації, так і інформаційних систем в цілому характеризуються тим, що, з одного боку, розвиток телекомунікаційних

мереж потребує застосування цифрових каналів і систем передачі даних, засобів обчислювальної техніки для обробки інформації в процесі її передачі, а з іншого – розвиток засобів обробки інформації і обчислювальної техніки потребують все більшого застосування засобів зв'язку для організації обміну інформацією в інтересах рішення прикладних задач. І як результат – процеси інтеграції та зближення телекомунікаційних мереж і засобів інформатизації сприяли перетворенню телекомунікаційних мереж в інфокомунікаційні мережі (раніше застосовувалися також терміни «інформаційна мережа», телекомунікаційна обчислювальна мережа» та інші).

Згідно існуючим уявленням, інфокомунікаційна система – це сукупність, яка включає в себе суть інформаційної і телекомунікаційної систем. Інформаційна система включає в себе інформацію та користувача. Телекомунікаційна система забезпечує перенесення інформації від джерела до споживача. Таким чином, інфокомунікаційну систему утворює сукупність мережі телекомунікацій (телекомунікаційної підсистеми), прикладної підсистеми (засобів зберігання і обробки інформації, прикладних процесів), а також підсистеми джерел і споживачів інформації (користувацька підсистема).

Інфокомунікації – інформаційно-телекомунікаційна інфраструктура, яка розвивається в відповідності з техніко-економічними законами розвитку суспільства.

Вузли мережі – це спеціальні мережеві пристрої, які з'єднуються з іншими пристроями, утворюючи собою структуровану систему.

За ступеню мобільності вузли мережі поділяються на стаціонарні (наземні), рухомі (грунтові, залізничні) та повітряні вузли. Стаціонарні вузли – наземні вузли, не пов'язані зі зміною місця розгортання. Рухомі вузли – навпаки, пов'язані з оперативним переміщенням мережі на певну відстань. Повітряні вузли за призначенням основним місцем розташування мають повітряний простір, який знаходиться в зоні зв'язку з іншими вузлами мережі.

В бездротових сенсорних мережах основна функціональна обробка даних відбувається на відповідному вузлі, який називається шлюзом і являє собою достатньо потужний комп'ютер. Шлюз, так само як і сенсор обладнаний антеною для того, щоб отримати данні від сенсорів. Проте шлюз отримує інформацію не від кожного сенсора, а лише від тих, які знаходяться в безпосередній близькості до нього. Данні ж від інших сенсорів також повинні бути доставлені до шлюза. Ця проблема вирішується тим, що сенсори можуть обмінюватися інформацією між собою за допомогою прийомопередавачів, які працюють в радіодіапазоні. Інформація, якою обмінюються сенсори це не лише інформація від датчиків, це також інформація про стан пристроїв і результати процесу передачі даних. Інформація передається від одного сенсора до іншого по ланцюжку, і в підсумку найближчі до шлюза сенсори передають йому вже всю зібрану інформацію. Якщо від якийсь з сенсорів виходить з ладу, то вся сенсорна мережа повинна переконфігуруватися і передача даних повинна продовжитися. Інформація, яка йшла через пошкодженні сенсори, повинна змінити маршрут і виключити несправні сенсори з нього, побудувавши новий маршрут тільки через робочі.

Для виконання цих функцій на кожен сенсор встановлюється спеціальна операційна система. Ця операційна система дозволяє сенсорам автоматично встановлювати зв'язки з сусідами і формувати сенсорну мережу з заданою топологією.

Найчастіше сенсорні мережі складаються з сотень, деколи – тисяч сенсорів і розробка схеми обміну даними між ними представляє собою дуже складну задачу. Також поряд з цим потрібно враховувати факт того, що бездротові сенсорні мережі працюють в ISM-діапазоні (Industrial, Scientific and Medical band) – діапазон загального призначення, який може використовуватися без спеціального ліцензування. Це може привести до певних перешкод з боку сторонніх джерел радіосигналів. Також через недостатню енергоємність або через вплив зовнішніх завад сенсори можуть

виходити з ладу на певний час або назавжди. В таких випадках схеми організації мережі і маршрути передачі даних повинні автоматично змінюватися. Цю функцію виконує операційна система, яка встановлена в кожен сенсор.

Частіше всього сенсор повинен мати можливість самостійно визначати своє місцезнаходження відносно інших сенсорів. Таким чином він повинен визначити, якому наступному сенсору він буде передавати данні, які в кінцевому підсумку повинні дійти до шлюза. Тобто при розгортанні безпроводової сенсорної мережі перш за все йде ідентифікація всіх сенсорів, а потім вже формується схема маршрутизації.

1.2 Аналіз проблематики створення безпроводових сенсорних мереж у зоні надзвичайної ситуації

Безперебійна робота будь-яких телекомунікаційних об'єктів в зоні надзвичайної ситуації передбачає собою вирішення складних завдань, які повинні бути детально обдумані з врахуванням усіх деталей, а також кожна потенційно можлива надзвичайна ситуація повинна бути врахованою.

Необхідно виділити ряд основних проблем, з якими можна зіштовхнутися при проектуванні бездротових сенсорних мереж у зоні надзвичайної ситуації, а також деякі шляхи їх вирішення.

- Швидкість налаштування обладнання. Всі вузли сенсорної мережі в кожен момент часу повинні бути попередньо налаштовані і готові в будь-який момент бути введені в експлуатацію. Це пов'язано з тим, що більшість надзвичайних ситуацій виникають раптово і непередбачувано. Налаштування мережі після виникнення надзвичайної ситуації може зайняти дуже багато часу, що неприпустимо при рятувальних операціях.

- Швидкість та безпека розгортання мережі. Монтаж мережі повинен проводитися спеціально навченими людьми, які здатні працювати в небезпечних умовах, з обмеженою кількістю часу. Також мережа повинна бути побудована якісно, для прикладу – щогли повинні бути міцно закріплені, не хитатися, антени на них також повинні закріплюватися так, щоб не було ризику пошкодження чи падіння.
- Захист всіх вузлів мережі від небезпечних природних та техногенних факторів. Кожен вузол повинен бути заздалегідь підготовленим до жорстких умов експлуатації. Вузли повинні бути водонепроникними, готовими до роботи в місцях з високою вологістю повітря; максимально термостійкими, якомога довше працювати поряд з відкритими джерелами полум'я; бути стійкими до впливу радіоактивних та небезпечних хімічних речовин тощо.
- Автономність роботи. Всі вузли мережі, зокрема сенсори повинні забезпечувати автономну роботу без підзарядки протягом тривалого часу. Ця проблема вирішується внаслідок вибору оптимальних технологій бездротової передачі даних. Також невеликі батареї, які входять до складу сенсорів не повинні бути розрядженими ще до початку розгортання мережі і мають забезпечувати тривалий час дії вузла.
- Вихід з ладу складових мережі. Мережа повинна бути готовою до швидкого перебудування та продовження функціонування при виході з ладу одного або декількох її вузлів.
- Захист інформації в сенсорній мережі. Інформація, яка передається в сенсорній мережі через повинна бути захищена від різного роду завад. Також мережа повинна бути захищеною від несанкціонованого проникнення ворожими силами. Інформація повинна бути зашифрованою.

Отже, метою даної роботи є проведення аналізу роботи безпроводових сенсорних мереж в зоні надзвичайної ситуації, дослідження основних безпроводових технологій, які можуть використовуватися в сенсорних мережах та вибір найбільш оптимальної, реалізація експериментальної сенсорної мережі з інфокомунікаційними наземними вузлами та внесення пропозицій щодо їх технічної реалізації.

1.3 Висновок з розділу 1

1. При виникненні надзвичайних ситуацій необхідна якісна робота телекомунікаційних систем для сповіщення населення, а також проведення пошукових операцій. Завдяки своїм особливостям сенсорні мережі є одним із найкращих при роботі в екстремальних ситуаціях.

2. Основними характеристиками безпроводових сенсорних мереж у зоні надзвичайної ситуації є захищеність кожного окремого вузла і всієї мережі в цілому до впливу зовнішніх факторів. Навіть у випадку виходу з ладу однієї чи декількох частин мережі, всі інші елементи повинні таким чином перебудуватися, щоб продовжити безперебійну роботу всієї мережі. Важливою характеристикою сенсорної мережі є швидкість розгортання в умовах надзвичайної ситуації. Ця швидкість забезпечується зокрема шляхом попереднього налаштування і готовності до роботи всіх складових частин мережі. Дані, які передаються повинні бути захищеними від перехоплення та використання сторонніми особами.

3. Завдяки різноманітним типам датчиків, які можуть використовуватися в сенсорних мережах, даний тип мереж може застосовуватися не тільки в різного походження надзвичайних ситуаціях (природних, техногенних, терористичних, соціальних), а й у промисловому виробництві, сільському господарстві, медицині, тощо.

4. Метою роботи є дослідження основних технологій безпроводових сенсорних мереж, проведення аналізу їх використання в зоні надзвичайної ситуації, реалізація експериментальної безпроводової сенсорної мережі і, як наслідок, внесення пропозиції щодо реалізації безпроводових сенсорних мереж у зоні надзвичайної ситуації.

5. Завданням наступного розділу є аналіз найпоширеніших безпроводових технологій, які можуть використовуватися в сенсорних мережах в зоні надзвичайної ситуації, а також на основі порівняльної характеристики вибір найбільш оптимальної технології.

2 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ В ЗОНІ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ

2.1 Порівняльний аналіз технологій передавання даних, які використовуються в сенсорних мережах

З кінця 20 століття було розроблено ряд стандартів надійного бездротового зв'язку. З останніх розроблених більшість забезпечують достатній для широкого користування захист інформації. Крім того, в 80-х з'явилися декілька нових частотних діапазонів вільного використання, включаючи діапазони 2,4 і 5 ГГц. На сьогоднішній день впровадження стандартизованих рішень радіозв'язку стало економічно ефективним і безпечним для більшості сфер життя, в тому числі використовується при проектуванні сенсорних мереж. Виникає питання оптимального вибору стандарту бездротового зв'язку із великої кількості доступних.

Для передачі даних між вузлами у сенсорній мережі на кожному вузлі повинен бути вбудований радіочастотний прийомопередавач. Важливо те, щоб на кожному вузлі прийомопередавачі працювали по однаковій бездротовій технології.

Найбільш відомою організацією, яка займається розробкою стандартів по радіоелектроніці, електроніці та зокрема технологіям безпроводової передачі даних є Інститут інженерів електротехніки та електроніки – IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Стандарти IEEE і телекомунікаційні галузеві стандарти бездротової передачі даних охоплюють як каналний, так і фізичний рівні еталонної моделі OSI (Open Systems Interconnection).

Розглянемо найбільш поширені стандарти бездротового зв'язку в частотних діапазонах ISM, які можуть використовуватися без ліцензування - 2,4 ГГц та 5 ГГц.

Стандарт IEEE 802.11. Технологія бездротової локальної мережі WLAN (Wireless Local Area Network), яку зазвичай називають Wi-Fi. Стандарт 802.11 є найбільш поширеним технічним рішенням організації бездротової мережі на основі стеку TCP/IP для користувацьких і промислових пристроїв. Назва Wi-Fi походить від скорочення словосполучення Wireless Fidelity (бездротова точність). Комітет, який координує цей стандарт, ставив перед собою завдання створити найкращу заміну провідним мережам TCP/IP. Серед іншого пріоритетними були параметри безпеки і швидкості передачі даних. В результаті цього пропускну здатність найновіших версій стандарту 802.11 більше, ніж у будь-якого іншого стандарту безпроводової мережі ближнього радіусу дії.

У WLAN застосовується протокол на основі конкуренції, відомий як множинний доступ з контролем несучої і запобіганням колізій – Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA). Мережева інтерфейсна плата перед передачею даних повинна перевірити чи вільний радіоканал. Якщо інший пристрій передає дані, мережева інтерфейсна плата повинна очікувати звільнення каналу.

До недоліків даного стандарту можна віднести велику споживану потужність і необхідність в великих обчислювальних ресурсах для ефективного обслуговування стека протоколів 802.11.

На сьогоднішній день це найбільш відома технологія бездротового зв'язку для комп'ютерів та інтернету. Технологія Wi-Fi об'єднує велику частину комп'ютерів, КПК і інших пристроїв. Поняття Wi-Fi може бути застосовано до бездротових пристроїв, які використовують набір стандартів IEEE 802.11. Стандарт Wi-Fi працює в смузі частот 2,4 ГГц (2,401...2,483) або 5 ГГц (5,15...5,825) в залежності від стандарту бездротової локальної мережі. Однією із проблем технології 802.11 є безпека мережі, оскільки в бездротову локальну мережу можна проникнути ззовні.

Зазвичай схема Wi-Fi-мережі містить не менше однієї точки доступу і не менше одного клієнта. Можливе також підключення двох клієнтів в

режимі «точка-точка», коли точка доступу не використовується, а клієнти з'єднуються за допомогою мережевих адаптерів «напрямую». Точка доступу передає свій ідентифікатор мережі - Service Set Identifier (SSID) за допомогою спеціальних сигнальних пакетів на швидкості 0,1 Мбіт/с кожні 100 мс. Тому 0,1 Мбіт/с – найменша швидкість передачі даних для Wi-Fi. Знаючи SSID мережі, клієнт може з'ясувати, чи можливо підключення до даної точки доступу. При потраплянні в зону дії двох точок доступу з однаковим SSID приймальний пристрій може обирати між ними на підставі даних про рівень сигналу. Стандарт Wi-Fi дає клієнту повну свободу при виборі критеріїв для з'єднання.

Кількість пристроїв, які одночасно можуть підключатися до точки доступу залежать від апаратних характеристик самої точки або навіть підключених до неї пристроїв (продуктивності самої точки, можливості точки доступу в плані радіозв'язку, можливості підключених пристроїв тощо). У деяких виробників максимальна кількість одночасно підключених пристроїв задається програмно (наприклад, у MikroTik існує програмне обмеження в 2007 одночасних підключень). Зазвичай до однієї точки доступу одночасно рекомендується підключати не більше 40 пристроїв. Для більш високих швидкостей рекомендується одночасно підключати до 7 пристроїв.

Найбільше поширення отримали бездротові мережі стандарту IEEE 802.11b, IEEE 802.11a, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n та IEEE 802.11ac.

Стандарт 802.11b базується на методі широкосмугової модуляції з прямим розширенням спектру - DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum). Весь робочий діапазон ділиться на 14 каналів, рознесених на 25 МГц для виключення взаємних завад. Дані передаються по одному із цих каналів без переключення на інші. Можливе одночасне використання всього трьох каналів. Швидкість передачі даних може автоматично змінюватися в залежності від рівня завад і відстані між передавачем і приймачем.

Стандарт 802.11b реалізує максимальну теоретичну швидкість передачі 11 Мбіт/с, що можна порівняти з кабельною мережею 10 BaseT Ethernet. Необхідно враховувати, що така швидкість можлива при передачі даних одним WLAN-пристроєм. Якщо в середовищі одночасно функціонує велике число абонентських станцій, то смуга пропускання розподіляється між всіма і швидкість передачі даних на одного користувача падає.

Стандарт 802.11a був прийнятий в 1999 році, тим не менше знайшов своє застосування тільки з 2001 року. Даний стандарт використовується, в основному, в США та Японії. В Україні та Європі він не отримав широкого поширення.

В стандарті 802.11a застосовується схема модуляції сигналу – мультиплексування з розділенням по ортогональним частотам - OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Основний потік даних розділяється на декілька паралельних субпотоків з відносно низькою швидкістю передачі, і потім для їх модуляції застосовуються відповідна кількість несучих. Стандартом, визначені три обов'язкові швидкості передачі даних (6, 12 і 24 Мбіт/с) і п'ять додаткових (9, 18, 24, 48, 54 Мбіт/с). Також є можливість одночасного використання двох каналів, що підвищує швидкість передачі даних в два рази.

Стандарт 802.11g остаточно був затверджений в червні 2003 року. Він є подальшим удосконаленням специфікації IEEE 802.11b і реалізує передачу даних в тому ж діапазоні. Головною перевагою цього стандарту є підвищена пропускна спроможність – швидкість передачі даних в радіоканалі досягає 54 Мбіт/с в порівнянні з 11 Мбіт/с у 802.11b. Як і IEEE 802.11b, нова специфікація функціонує в діапазоні 2,4 ГГц, однак для підвищення швидкості використовується та ж схема модуляції сигналу, що і в 802.11a – OFDM.

Стандарт 802.11g сумісний з 802.11b. Так адаптери 802.11b можуть працювати в мережах 802.11g (але при цьому швидкість не буде

перевищувати 11 Мбіт/с), а адаптери 802.11g можуть знижувати швидкість передачі даних до 11 Мбіт/с для роботи в старих мережах 802.11b.

Стандарт 802.11n був ратифікований 11 вересня 2009 року. Він збільшував швидкість передачі даних практично в 4 рази в порівнянні з пристроями стандартів 802.11g (максимальна швидкість яких рівна 54 Мбіт/с), при умові використання в режимі 802.11n з іншими пристроями 802.11n. Максимальна теоретична швидкість передачі даних складає 600 Мбіт/с, застосовуючи передачу даних одразу по чотирьох антенах. По одній антені – до 150 Мбіт/с.

Пристрої 802.11n можуть працювати в одному із двох діапазонів – 2,4 або 5 ГГц. Це набагато підвищує гнучкість їх застосування, дозволяючи відгороджуватися від джерел радіочастотних завад. Крім цього, пристрої 802.11n можуть працювати в трьох режимах:

- успадкований (Legacy), в якому забезпечується підтримка пристроїв 802.11b/g і 802.11a;
- змішаний (Mixed), в якому підтримується пристрої 802.11b/g, 802.11a і 802.11n;
- «чистий» режим 802.11n (саме в цьому режимі можна скористатися перевагами підвищеної швидкості і збільшеної дальності передачі даних, які забезпечуються стандартом 802.11n).

Специфікація 802.11n передбачає використання як стандартних каналів шириною 20 МГц, так і широкосмугових – 40 МГц з більш високою пропускною спроможністю.

В основі стандарту IEEE 802.11n лежить технологія OFDM-MIMO, яка є ключовим компонентом стандарту 802.11n. MIMO (Multiple Input, Multiple Output) – передбачає застосування просторового мультиплексування з метою одночасної передачі декількох інформаційних потоків по одному каналу, а також багатопроменеве відображення, яке забезпечує доставку кожного біта інформації відповідному отримувачу з невеликою ймовірністю впливу завад і

вtrat даних. Саме можливість одночасної передачі і прийому даних визначає високу пропускну здатність пристроїв 802.11n.

Більшість функціоналу запозичено із стандарту 802.11a, тим не менше в стандарті IEEE 802.11 є можливість застосування як частотного діапазону, прийнятого для стандарту IEEE 802.11a, так і частотного діапазону, прийнятого для стандартів IEEE 802.11b/g. Таким чином, пристрої, які підтримують стандарт 802.11n, можуть функціонувати в частотному діапазоні або 5, або 2,4 ГГц, причому конкретна реалізація буде залежати від країни. Для України пристрої стандарту IEEE 802.11n будуть підтримувати частотний діапазон 2,4 ГГц.

Збільшення швидкості передачі в стандарті IEEE 802.11n досягається за рахунок: подвоєння ширини каналу з 20 до 40 МГц, а також внаслідок реалізації технології MIMO.

Стандарт 802.11ac є подальшим розвитком технологій, введених в стандарт 802.11n. В специфікаціях пристрої стандарту 802.11ac віднесені до класу VHT (Very High Throughput) – з дуже високою пропускну здатністю. Мережі стандарту 802.11ac працюють виключно в діапазоні 5 ГГц. Смуга радіоканалу може складати 20, 40, 80 і 160 МГц. Можливе також об'єднання двох радіоканалів 80 + 80 МГц.

В зв'язку з тим, що більшість бездротових мереж працює в діапазоні частот 2,4 ГГц, діапазон 5 ГГц менше схильний до різноманітних завад. Використання діапазону 5 ГГц забезпечує більш вільний радіоефір, що призводить до підвищення швидкості передачі даних, а також стабільності з'єднання.

У відповідності зі стандартом 802.11ac ширина бездротового каналу для передачі сигналу збільшена до 80 МГц (додатково можна розширювати ширину каналу до 160 МГц), на відміну від 40 МГц у стандарті 802.11n. Також у 802.11ac є можливість використання до 8 просторових потоків - Spatial Streams (SS) і використання 256-позиційної квадратурно-амплітудної модуляції 256-QAM (Quadrature Amplitude Modulation), яка буквально

стискає 256 різних сигнали однієї частоти, зміщуючи їх і переплітаючи кожен із них в іншу фазу. 256 – рівень модуляції, який визначає кількість станів несучої, які використовуються для передачі інформації. Модуляція 256-QAM передає 8 біт інформації одним станом несучої. Теоретично, це збільшує спектральну ефективність 802.11ac в чотири рази, в порівнянні з 802.11n. Спектральна ефективність – це міра того, як добре бездротовий протокол або метод мультиплексування використовує пропускну здатність, яка для нього доступна.

У стандарті 802.11ac також передбачається стандартизоване формування променя. Це дозволить передавати радіосигнали таким чином, щоб вони були направлені на конкретний пристрій. Це може підвищити загальну пропускну здатність, а також знизити енергозатрати і, відповідно, час автономної роботи пристроїв.

Теоретично максимальна швидкість 802.11ac – 8 каналів шириною смуги 160 МГц і з використанням модуляції 256-QAM, кожен з каналів здатен надати швидкість 866,7 Мбіт/с, що загалом надає 6,933 Гбіт/с.

У таблиці 2.1 наводиться порівняння найпопулярніших стандартів IEEE 802.11

Таблиця 2.1 Швидкості передачі даних деяких стандартів IEEE 802.11

Стандарт IEEE 802.11	Максимальна швидкість передачі даних, Мбіт/с	Частотний діапазон	Приблизна дальність дії, м
802.11a	54 Мбіт/с	5 ГГц	до 50
802.11b	11 Мбіт/с	2,4 ГГц	до 150
802.11g	54 Мбіт/с	2,4 ГГц	до 150
802.11n	600 Мбіт/с (при використанні 4 антен)	2,4 або 5 ГГц	до 150
802.11ac	6,933 Гбіт/с (при 8x MU-MIMO-антенах)	5 ГГц	до 50

Важливим моментом є захист безпроводової мережі у технології Wi-Fi. Захист мережі визначається налаштуваннями на точці доступу. Точка доступу може працювати в двох режимах – відкритому або захищеному. При використанні відкритого режиму до мережі може підключитися будь-який пристрій. Цей режим не є захищеним тому використовувати його не рекомендується. У випадку захищеного доступу до мережі підключитися може лише той пристрій, який може передати вірний пароль доступу. Існує три основних стандарти захисту мережі:

- WEP (Wired Equivalent Privacy) – перший стандарт, який сьогодні практично не забезпечує захист через можливість легкого злому і, як наслідок, майже не використовується.
- WPA (Wi-Fi Protected Access) – на момент виходу забезпечував надійний захист Wi-Fi мереж, проте зараз виявлені вразливості, які дають можливість зломисникам отримати доступ до безпроводової мережі, яка використовує цей стандарт.
- WPA2 (Wi-Fi Protected Access 2) – найпоширеніший стандарт захисту. Забезпечує відносно надійний захист даних, проте відомі декілька способів злому захисту такі як перебір паролів та через службу WPS (Wi-Fi Protected Setup).

Також на даний момент існує більш новий стандарт захисту мережі – WPA3, який враховує недоліки попередніх стандартів. Проте він ще знаходиться на стадії розробки та тестування і для масового використання ще не доступний.

На даний момент оптимальним для забезпечення безпеки мережі є використання типу захисту WPA2. Також для уникнення злому методом підбору паролів необхідно використовувати складні паролі, які складаються випадкових комбінацій символів і періодично їх змінювати.

Стандарт Bluetooth призначений для організації безпроводової персональної мережі – Wireless Personal Area Network (WPAN), яка оточує людину або інтелектуальний пристрій і не потребує значних витрат енергії.

Стандарт відповідає вимогам швидкого з'єднання та низької енергозатрати. В персональній мережі допускається досить близьке взаємне розташування безлічі передатчиків – в Bluetooth застосовується синхронізація всіх пристроїв для уникнення накладень сигналів їх передатчиків. При розробці Bluetooth також враховувались забезпечення стійкості до завад від Wi-Fi пристроїв, з застосуванням алгоритму стрибкоподібної перебудови частоти, щоб повідомлення Bluetooth пристроїв могли передаватися навіть при одночасній активності в декількох каналах Wi-Fi. Нарешті, в зв'язку з тим, що потужність передатчика дуже мала, зв'язок по Bluetooth менше схильна до впливу багатопроменевого поширення, в порівнянні зі зв'язком по Wi-Fi. Завдяки цьому для застосування Bluetooth не потребується глибоке вивчення і планування радіообстановки в місці експлуатації. Система досить стійка до впливу сторонніх і взаємних перешкод.

Технологія Bluetooth дозволяє пристроям встановлювати зв'язок в діапазоні частот 2,4...2,4835 ГГц. За допомогою цієї технології пристрої можуть обмінюватися даними, якщо вони знаходяться в радіусі 10...100 метрів один від одного, при цьому дальність в більшій мірі залежить від наявності перешкод і завад. Bluetooth використовує частотну модуляцію з гаусівською фільтрацією - Gaussian frequency shift keying (GFSK) спільно з псевдовипадковим перестроюванням робочої частоти - Frequency Hopping Spectrum Spreading (FHSS). В стандарті Bluetooth доступні три рівні вихідної потужності. Пристрої класу 1,2 і 3 забезпечують вихідну потужність 20, 4 і 0 дБм, відповідно. У таблиці 2.2 наведені максимальні потужності, а також радіус дії пристроїв стандарту Bluetooth різних класів.

Таблиця 2.2 Класи пристроїв стандарту Bluetooth.

Клас	Максимальна потужність, мВт	Максимальна потужність, дБм	Радіус дії (приблизно), м
1	100	20	100
2	2,5	4	10
3	1	0	1

Різниця у відстані для різних класів пристроїв Bluetooth, безумовно, велика, однак з'єднання в межах 10 метрів дає змогу зберегти низьке енергоспоживання, компактний розмір і досить невисоку вартість компонентів. На противагу цьому при збільшенні радіуса дії дуже сильно збільшується потужність передавача, яка необхідна для забезпечення цієї відстані. Відповідно збільшуються і енергозатрати. Тому оптимальний радіус дії пристроїв на основі стандарту Bluetooth складає до 10 метрів, попри теоретично можливо - понад 100 метрів.

Згідно алгоритму FHSS, в Bluetooth несуча частота сигналу, стрибкоподібно змінюється 1600 разів в секунду (всього виділяється 79 робочих частот шириною в 1 МГц, а в Японії, Франції та Іспанії смуга вужча – 23 частотних канали). Послідовність переключення між частотами для кожного з'єднання є псевдовипадковою і відома лише передавачу і приймачу, які кожні 625 мкс (один часовий слот) синхронно перелаштовуються з однієї несучої частоти на іншу. Таким чином, якщо поряд працюють декілька пар «приймачів-передавачів», то вони не заважають один одному. Цей алгоритм є також складовою частиною системи захисту конфіденційної інформації: перехід відбувається по псевдовипадковому алгоритму і визначається для кожного з'єднання.

При передачі цифрових даних і аудіо сигналу (64 кбіт/с на прийом і передачу) використовуються різноманітні схеми кодування: аудіо сигнал не повторяється (як правило), а цифрові дані в випадку втрати пакета інформації

передаються повторно. Без завадостійкого кодування це забезпечує передачу даних зі швидкостями 723,2 кбіт/с або 433,9 кбіт/с в обох напрямках. Протокол Bluetooth підтримує не тільки з'єднання «точка-точка» (point-to-point), а і з'єднання «точка-багатоточка» (point-to-multipoint).

В 2009 році групою Bluetooth Special Interest Group (Bluetooth SIG) була представлена нова версія стандарту Bluetooth 4.0, в якій застосовується технологія Bluetooth з низькою затратою енергії – Bluetooth Low Energy. Цей стандарт призначений для обміну даними з меншою споживаною потужністю, ніж в попередніх версіях. Дана технологія перш за все призначена для мініатюрних датчиків, які використовуються в спортивному взутті, тренажерах, мініатюрних сенсорах, що розміщуються на тілі спортсменів тощо. Дана версія також здатна працювати при незначних відстанях між пристроями Bluetooth.

Споживаючи менше енергії, технологія Bluetooth Low Energy забезпечує зв'язок між невеликими пристроями (наприклад, датчиками і мобільними пристроями) в межах персональних мереж. Технологія Bluetooth Low Energy має дві однаково важливі реалізації: однорежимну (single-mode) і двохрежимну (dual-mode). Мініатюрні пристрої, такі як годинник і спортивні датчики, на основі однорежимних модулів Bluetooth будуть максимально використовувати переваги низького енергоспоживання і забезпечувати високу ступінь інтеграції і компактні розміри пристроїв. В двохрежимній реалізації функціональні можливості Bluetooth Low Energy інтегрується в класичний Bluetooth. Ця реалізація покращить існуючі новим стеком Bluetooth Low Energy, додавши при цьому нові можливості в класичні пристрої Bluetooth.

Низьке енергоспоживання в Bluetooth 4.0 досягається за рахунок використання спеціального алгоритму роботи. Передавач вмикається тільки на час відправки даних, що забезпечує можливість роботи від однієї батарейки типу CR2032 протягом декількох років. Стандарт забезпечує швидкість передачі даних в 1Мбіт/с при розмірі пакета даних 8-27 байт. В

новій версії два Bluetooth-пристрої зможуть встановлювати з'єднання менше ніж за 5. Надійність зв'язку забезпечує вдосконалена корекція помилок, а високий рівень безпеки – 128-бітне AES-шифрування (Advanced Encryption Standard).

Різноманітні датчики температури, тиску, вологості, швидкості пересування тощо на основі цього стандарту можуть передавати інформацію на різноманітні управляючі пристрої: мобільні телефони, КПК, ПК тощо.

На відміну від Bluetooth і Wi-Fi зв'язок по стандарту IEEE 802.15.4 призначений для додатків з невеликою швидкістю передачі даних на частотах 868 МГц, 915 МГц, 2,4 ГГц. Число каналів і швидкість передачі, які використовуються в цьому стандарті, відрізняються в залежності від обраного частотного діапазону:

- 868,0...868,6 МГц: Європа, дозволяється один канал зв'язку;
- 902...928 МГц: Північна Америка, тридцять доступних каналів;
- 2400...2483,5 МГц: використовується у всьому світі, більше шістнадцяти каналів.

Найпопулярнішою частотою є 2,4 ГГц з максимальною швидкістю передачі 250 кбіт/с. Основними областями застосування цього стандарту є системи домашньої автоматики, дистанційні вимірювачі, ігрові системи і мережі бездротових датчиків. Одним із головних напрямків використання є системи збору даних і управління в реальному часі, де, як правило, не потрібна дуже велика швидкість передачі даних. Однією із ключових особливостей стандарту IEEE 802.15.4 є невелике енергоспоживання, що забезпечує тривалий термін служби батареї (10-20 років). Зазвичай граничною дальністю роботи є 10-метровий радіус зв'язку зі швидкістю передачі 250 кбіт/с. Порівняння стандартів IEEE 802.15.4 та Bluetooth наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 Порівняння стандартів IEEE 802.15.4 та Bluetooth.

Параметр	IEEE 802.15.4	Bluetooth
Частота	2,4 ГГц / 868 МГц / 915 МГц	2,4 ГГц
Швидкість передачі	20...250 кбіт/с	1000 кбіт/с
Розмір мережі	До 65536 вузлів	До 8 вузлів
Дальність дії	10...100 м	10...100 м

Однією із найважливіших функцій стандарту IEEE 802.15.4 є забезпечення роботи в режимі реального часу шляхом збереження часових слотів, запобігання одночасного доступу і комплексній підтримці захисту мереж. Пристрої також включають функції управління витратами енергії, такими як перевірка якості з'єднань і детектування енергії.

Перша версія стандарту визначала два фізичних шари, що базуються на широкопasmовій модуляції з прямим розширенням спектра DSSS, один із яких працює в смузі 868/915 МГц зі швидкістю передачі в 20 і 40 кбіт/с, а другий в смузі 2,4 ГГц зі швидкістю 250 кбіт/с.

В 2009 році були додані (специфікації 802.15.4с і 802.15.4d) доступні фізичні шари: в смузі 780 МГц використовується квадратурна фазова маніпуляція - Quadrature phase-shift keying (QPSK) або фазова маніпуляція більш високих порядків (M-PSK); в смузі 915 МГц – гаусівська частотна маніпуляція (GFSK) або двійкова фазова маніпуляція - Binary phase-shift keying (BPSK).

Стандарт визначає два типи вузлів. Перший – повнофункціональний пристрій - Full Functional Device (FFD). Він може працювати в якості координатора персональних мереж, а також в якості загального вузла. Другий – пристрій зі скороченим набором функцій - Reduced Functional Device (RFD). Це дуже прості пристрої, які можуть лише підтримувати зв'язок з повнофункціональними пристроями і ніколи не працюють в якості координаторів.

Мережі можуть бути побудовані як по одноранговій (рівноправній) топології, так і по топології типу «зірка». Проте в кожній мережі повинен бути принаймні один повнофункціональний пристрій для роботи в якості координатора. Кожен пристрій має унікальний 64-розрядний номер або при певних умовах – укорочений 16-розрядний ідентифікатор. В межах кожного домену персональної мережі використовують, як правило, короткі ідентифікатори.

Стандарт ZigBee побудований на основі фізичного рівня стандарту IEEE 802.15.4. Діапазон 2,4 ГГц залишається найбільш широко використовуваною смугою частот для ZigBee. Цей стандарт описує бездротові персональні обчислювальні мережі (WPAN). Стандарт ZigBee призначений для додатків, яким потрібна більша кількість часу автономної роботи від батареї і велика безпека, при менших швидкостях передачі даних.

Специфікація ZigBee передбачає передачу інформації в радіусі 10...75 метрів з максимальною швидкістю 250 кбіт/с.

За стандартом ZigBee закріплені 27 каналів в трьох частотних діапазонах – 2,4 ГГц (16 каналів), 915 МГц (10 каналів) і 868 МГц (1 канал). Максимальна швидкість передачі даних для цих ефірних діапазонів складає, відповідно, 250, 40 і 20 кбіт/с. Доступ до каналу здійснюється по контролю несучої (CSMA), тобто пристрій спочатку перевіряє чи не зайнятий ефір, і тільки після цього починає передачу. Підтримується шифрування по алгоритму AES з довжиною ключа 128 біт.

З самого початку стандарт ZigBee розроблявся для того, щоб максимально знизити енергозатрати пристроїв, які задіяні в бездротовій мережі. При цьому більшу частину часу апаратура буде знаходитися в сплячому режимі, лише деколи прослуховуючи ефір. Серед інших переваг стандарту слід назвати хорошу масштабованість, можливість самовідновлюватися в випадку збоїв і простоту налаштування. При застосуванні 64-розрядної адресації в єдину мережу можуть бути об'єднані більше 60 тисяч ZigBee-пристроїв.

Основна особливість технології ZigBee полягає в тому, що вона при відносно невисокому енергоспоживанні підтримує не лише прості топології бездротового зв'язку («точка-точка» і «зірка»), але і складні бездротові мережі з комірчастою топологією з ретрансляцією і маршрутизацією повідомлень.

Області застосування даної технології – побудова бездротових мереж датчиків, автоматизація жилих будівель і тих, які будуються, створення індивідуального діагностичного медичного обладнання, системи промислового моніторингу і управління, а також системи побутової електроніки і ПК. Специфікація ZigBee доступна для широкої публіки при умовах некомерційного використання.

Існує три різних типи пристроїв ZigBee:

- координатор ZigBee (ZigBee Coordinator, ZC) – найбільш відповідальний пристрій, формує шляхи дерева мережі і може з'єднуватися з іншими мережами. В кожній мережі є один координатор ZigBee. Він запускає мережу і може зберігати інформацію про мережу, зокрема секретні паролі;
- маршрутизатор ZigBee (ZigBee Router, ZR) може виступати в якості проміжного маршрутизатора, передаючи дані від інших пристроїв. Він також може запускати функцію додатку;
- кінцевий пристрій ZigBee (ZigBee End Device, ZED) може обмінюватися інформацією з материнським вузлом (або з координатором, або з маршрутизатором), він не може передавати дані з інших пристроїв. Це дозволяє вузлу більшу частину часу знаходитися в сплячому стані і, відповідно, економити ресурс батареї. ZED потребує мінімальної кількості пам'яті, тому він дешевший в виробництві, ніж ZR чи ZC.

Окрім стандартів, які були представлені вище, бездротовий зв'язок в діапазоні ISM застосовується і в деяких інших стандартах, які знаходяться на

стадії розробки. Наприклад, UWB (Ultra-Wide Band - надширока смуга) – це технологія для високошвидкісного зв'язку на малих відстанях при дуже низькому енергоспоживанні. Використання широкої смуги частот, яка складає не менше 500 МГц дозволяє UWB досягати швидкості до 480 Мбіт/с, проте на дуже малих відстанях – до 3 метрів. На відстані до 10 метрів технологія дозволяє досягати лише 110 Мбіт/с.

Пропускна здатність пристроїв стандарту UWB різко знижується зі збільшенням відстані – набагато швидше, ніж у стандарті 802.11a/g, який забезпечує пропускну здатність до 54 Мбіт/с на відстані до 100 метрів. Обмеження по відстані виникає через широку корисну смугу пропускання, тобто щоб не заважати пристроям, які працюють на тих чи інших частотах, потужність сигналу повинна бути дуже малою – в середньому не більше -41,3 дБм.

Для представлення одного біта даних передавач передає певні послідовності імпульсів, які складаються із 128 або 1024 імпульсів.

Перевага UWB полягає в стійкості до багатопроменевого замирання, проте такі сигнали схильні до міжсимвольної інтерференції, що виправляється спеціальними методами кодування.

2.2 Особливості вибору технології передавання даних для дослідженої безпроводової сенсорної мережі у зоні надзвичайної ситуації

Після огляду основних технологій бездротових мереж, які використовуються в ISM діапазоні, можна навести порівняння певних їх характеристик (див табл. 2.4) для того, щоб визначити, яку з технологій найбільш доцільно використовувати при проектуванні безпроводової сенсорної мережі. Також необхідно зазначити, що більш ранні стандарти IEEE 802.11, такі як 802.11b, 802.11a, 802.11g до таблиці включатися не

будуть. На заміну раннім стандартам Wi-Fi прийшли нові 802.11n та 802.11ac.

Таблиця 2.4 Порівняння основних технологій бездротових мереж

Стандарт	802.11n	802.11ac	Bluetooth (802.15.1)	ZigBee (802.15.4)	UWB (802.15.3)
Частота	2,4 / 5 ГГц	5 ГГц	2,4 ГГц	868 МГц / 915 МГц / 2,4 ГГц	3,1...10,6 ГГц
Максимальна швидкість	600 Мбіт/с	6,93 Гбіт/с	1, 3, 24 Мбіт/с (дод. 55 Мбіт/с)	20 кбіт/с / 40 кбіт/с / 250 кбіт/с	480 Мбіт/с
Дальність дії	До 150 м	До 50 м	До 100 м	До 100 м	До 10 м
Енергозбереження	Низьке	Низьке	Високе	Дуже високе	Дуже високе
Розмір мережі	Не рекомендується більше 40	Не рекомендується більше 40	Майстер + 7	65536 (16-бітні адреси), 264 (64-бітні адреси)	До 127/хост
Основні переваги	Відносно висока швидкість	Висока швидкість	Енергозбереження	Енергозбереження, розміри мережі, вибір частотних діапазонів	Висока швидкість, енергозбереження

Основним недоліком мобільних Wi-Fi мереж є невеликий термін роботи акумуляторних батарей, проте проблема дуже легко вирішується, наприклад, використовуючи електричні акумулятори різної ємності. Більш потужні акумулятори, зазвичай, мають більші об'єми, проте для функціонування безпроводової сенсорної мережі з використанням технології Wi-Fi можна обрати менш потужні акумуляторні батареї. Недоліком UWB є те, що ця технологія має дуже невелику дальність дії. Відстань між сенсорами у сенсорній мережі може досягати декількох десятків метрів, тому використання технології UWB буде неефективним. Також подібний недолік

присутній в технології Bluetooth, в якій енергоефективність пристроїв забезпечується лише при відстані до 10 метрів, а при збільшенні відстані, дуже сильно збільшується необхідність в потужності передавача і, відповідно, збільшення енергозатрат.

На початку 2000-х років в сенсорних мережах зазвичай не потрібна була висока пропускна спроможність, оскільки об'єм даних, які збираються з різноманітних датчиків, таких як датчики температури, вологості, освітленості тощо, був не надто великий. Для таких цілей ідеально підходило використання технології ZigBee з пропускною здатністю до 250 кбіт/с. Проте у теперішньому світі навіть при використанні таких датчиків, як датчик температури, вологості та освітлення виникає потреба передачі більших об'ємів даних за рахунок того, що дані передаються постійно, а також у датчиках, в яких використовується передача потокового відео або звуку, не вистачить пропускної здатності до 250 кбіт/с, яку може запропонувати технологія ZigBee. Також необхідно враховувати можливі завади при передачі даних по радіосередовищі, через що максимальна пропускна здатність може суттєво знизитися. Через це потрібно розглянути іншу технологію, використання якої може забезпечити більшу пропускною здатністю, а також завадозахищеність.

Таким чином, для вирішення практичних завдань по реалізації бездротових сенсорних мереж у зоні надзвичайної ситуації найбільш доцільно використовувати саме технологію Wi-Fi, як основну безпроводову технологію для передачі даних.

При проектуванні безпроводової сенсорної мережі на основі технології Wi-Fi дану мережу дуже легко масштабувати, тобто збільшувати об'єми, при цьому не зменшуючи технічних характеристик самої мережі. Для масштабування необхідно просто додати нову точку доступу, до якої буде підключатися певна кількість сенсорів і з'єднати її з іншими точками або з головним шлюзом.

При виході з ладу будь-якого сенсор, мережа в цілому не буде спостерігати будь-які проблеми, оскільки кожен сенсор окремо підключається до власної точки доступу. Ризики лише існують при виході з ладу самих точок доступу або шлюза, проте при проектуванні мережі необхідно додаткову увагу приділити забезпеченню захищеності даних вузлів.

Технологія Wi-Fi гарантує відносно високий захист мережі при використанні нового стандарту захисту WPA2 та дотриманні елементарних вимог безпеки таких як надійний пароль для доступу до мережі і періодична його заміна. Це унеможливорює несанкціонований доступ до мережі стороннім особам для перехоплення інформації.

Всі недоліки технології Wi-Fi при проектування бездротової сенсорної мережі, які були описані вище, компенсуються. Для прикладу, в проектуваній мережі для постійного енергоживлення елементів мережі використовуються дві акумуляторні кислотні батареї (АКБ) з номінальною напругою 12 В і ємністю 33 А*год.

2.3 Висновок з розділу 2

1. Існує багато бездротових технологій передачі даних, які можуть використовуватися в сенсорних мережах. Найпопулярніші з них – Wi-Fi, Bluetooth та ZigBee.

2. В сучасному житті найбільш поширеним в сенсорних мережах є технологія 802.11.xx (Wi-Fi). Основною особливістю мережі, в якій використовується дана технологія є висока пропускна спроможність і система захисту переданої інформації. Пристрої в безпроводовій сенсорній мережі ієрархічно поділяються на координатор – шлюз, на який спрямовується вся зібрана інформація з мережі, обробляється і може передаватися в зовнішню мережу; маршрутизатор – зазвичай, точка доступу,

яка отримує інформацію від сенсорів, зберігає її та передає координатору; кінцевий пристрій – виконує функції збору та передачі інформації в напрямку до координатора. Безпроводові сенсорні мережі є стійкими до виходу з ладу одного або декількох її елементів.

Також при проектуванні бездротових сенсорних мереж можна використовувати інші технології бездротової передачі даних в залежності від потреб сенсорної мережі, враховуючи та компенсуючи їх недоліки.

3. Завданням наступного розділу є аналіз найпоширеніших топологій сенсорних мереж, практична реалізація експериментальної сенсорної мережі з інфокомунікаційними наземними вузлами, а також внесення пропозиції щодо її модернізації.

3 ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО РЕАЛІЗАЦІЇ БЕЗПРОВОДОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ З ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИМИ НАЗЕМНИМИ ВУЗЛАМИ У ЗОНІ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ

3.1 Обґрунтування топології безпроводових сенсорних мереж

В загальному випадку, топологія мережі – це спосіб опису конфігурації мережі, яка відображає структури зв'язку між різними її компонентами, вузлами. Топологія мережі являє собою граф, вершинам якого відповідають кінцеві вузли, і комунікаційне обладнання, а ребрам – фізичні зв'язки між цими вершинами.

Топологія мережі сильно впливає на її характеристики. Наприклад, наявність резервних зв'язків підвищує її надійність.

Топологія може бути фізичною та логічною. Фізична топологія описує, як дійсно розташовуються вузли і зв'язки між ними в мережі. Логічна ж топологія описує проходження сигналу в фізичній топології.

Всі топології поділяються на повнозв'язні та неповнозв'язні. В повнозв'язній топології кожен вузол мережі має зв'язок з усіма іншими вузлами. Ця топологія є дуже складною в реалізації та дороговартісною, проте забезпечує найбільшу надійність. Всі інші топології є неповнозв'язними, тобто для обміну даними між двома вузлами може бути потрібна проміжна передача через інші вузли мережі.

Існує багато способів організації мережі в рамках тієї чи іншої топології. До основних неповнозв'язних топологій відносяться – топологія зірки, шини та кільцева топології. Решта топологій є похідними від основних, або їх об'єднанням. На рисунку 3.1 наведені приклади основних неповнозв'язних, а також повнозв'язна топологія.

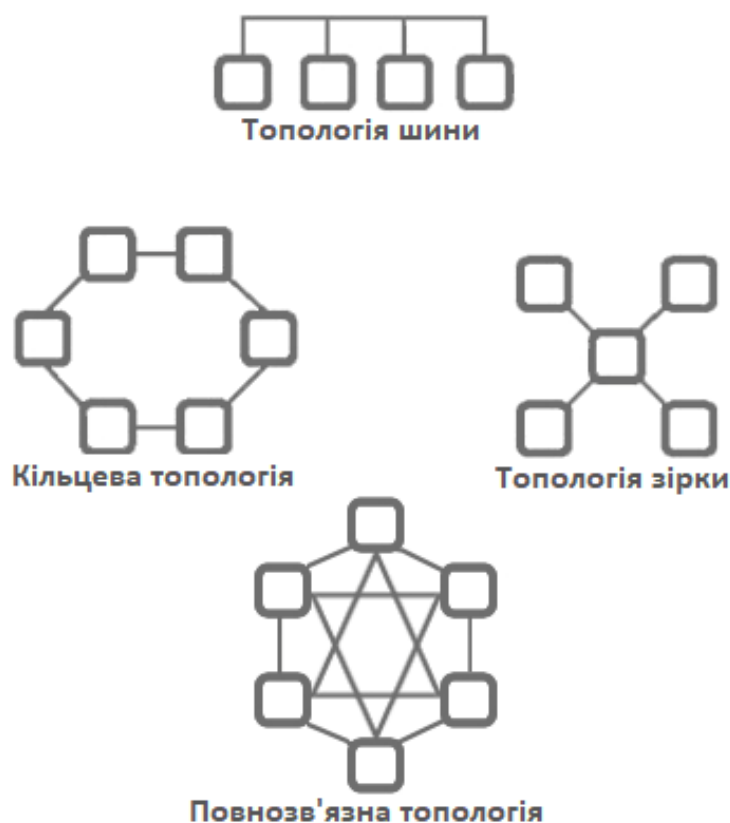


Рисунок 3.1 Приклади основних топологій

Бездротові сенсорні мережі в основному будуються на основі коміркової (mesh) топології. Коміркова топологія дуже схожа повнозв'язну, але з видаленням певних зв'язків.

До найбільш поширених топологій, які використовуються в безпроводових сенсорних мережах належать:

- топологія зірка;
- деревоподібна топологія;
- коміркова топологія.

Топологія зірка — це мережева топологія, в якій всі вузли безпосередньо з'єднуються з основним вузлом — шлюзом. Цей вузол є лише одним, він може відправляти або приймати повідомлення іншим вузлом. В топології зірка вузли, які не є шлюзом не можуть обмінюватися повідомленнями один з одним, лише з єдиним шлюзом. Це забезпечує обмін даними з низьким рівнем затримки між вузлами і шлюзом.

Через те, що дана топологія залежна від єдиного шлюза, для керування мережею він повинен знаходитися в діапазоні радіопередачі всіх інших вузлів. Перевагою є те, що звичайні вузли потребують мінімального споживання енергії для роботи, адже основним їх завданням є лише передача інформації на головний вузол – шлюз. Розміри мережі залежать від кількості вузлів, які підключаються до шлюза. На рисунку 3.2 зображений приклад топологія «зірка»

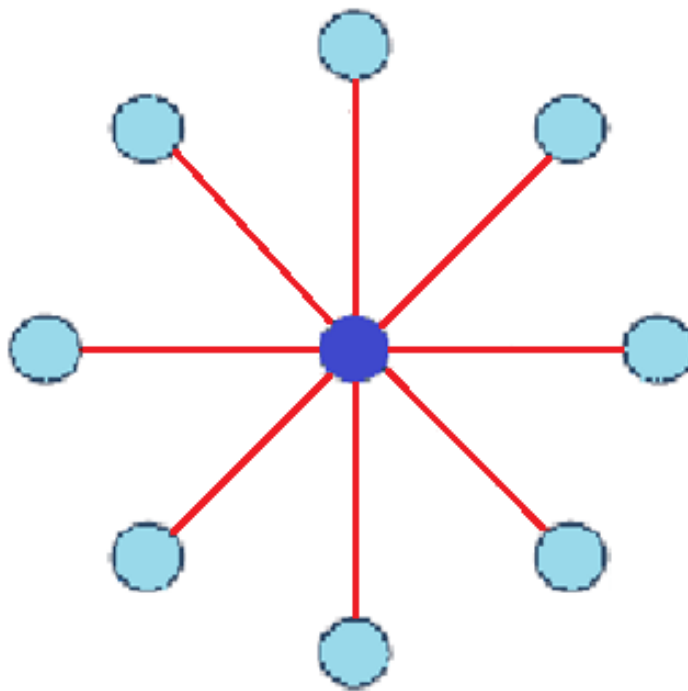


Рисунок 3.2 Топологія «зірка»

Деревоподібну топологію також називають каскадною зірковою топологією. В топології дерева кожен вузол з'єднується з вузлом вище по топології, доходячи до кінцевого єдиного вузла – шлюза. Головною перевагою деревоподібної топології є те, що вона може бути легко масштабована, а також легким є виявлення можливих несправностей в ній. Недоліком є те, що окремі вузли можуть бути ізольовані від мережі внаслідок аварії однієї гілки. На рисунку 3.3 зображений приклад деревоподібної топології.

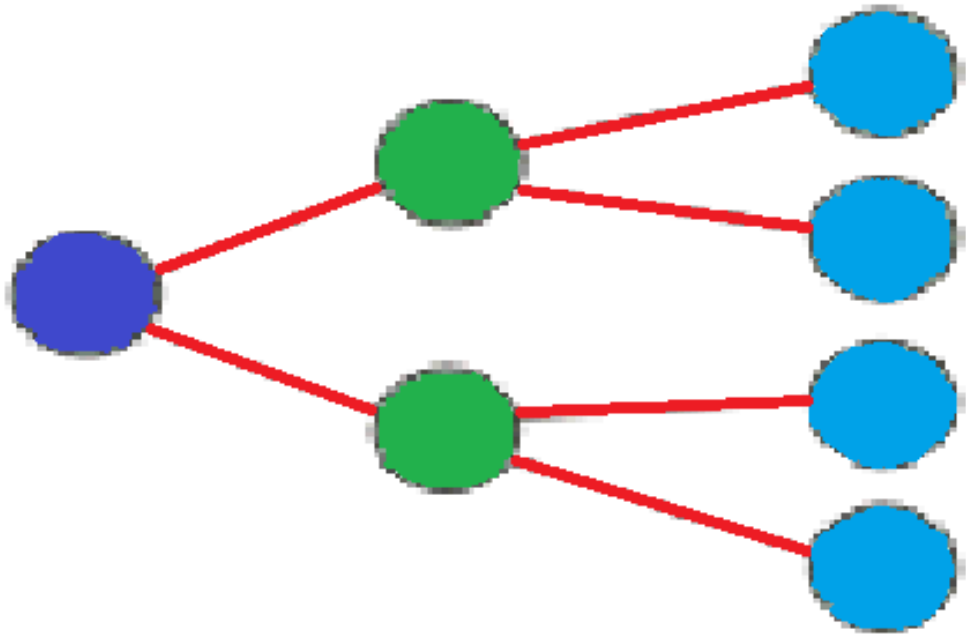


Рисунок 3.3 Деревоподібна топологія

Коміркова топологія дозволяє вузлам передавати дані до інших вузлів, які знаходяться в діапазоні радіопередачі. Якщо вузол хоче передати дані іншому вузлу, який знаходиться поза діапазоном можливої радіопередачі, йому потрібен проміжний вузол для пересилки повідомлення на потрібний. Перевагою такої топології є можливість простої ізоляції і виявлення несправностей мережі. Недоліком є те, що вона економічно найбільш дороговартісна. На рисунку 3.4 зображений приклад коміркової топології.

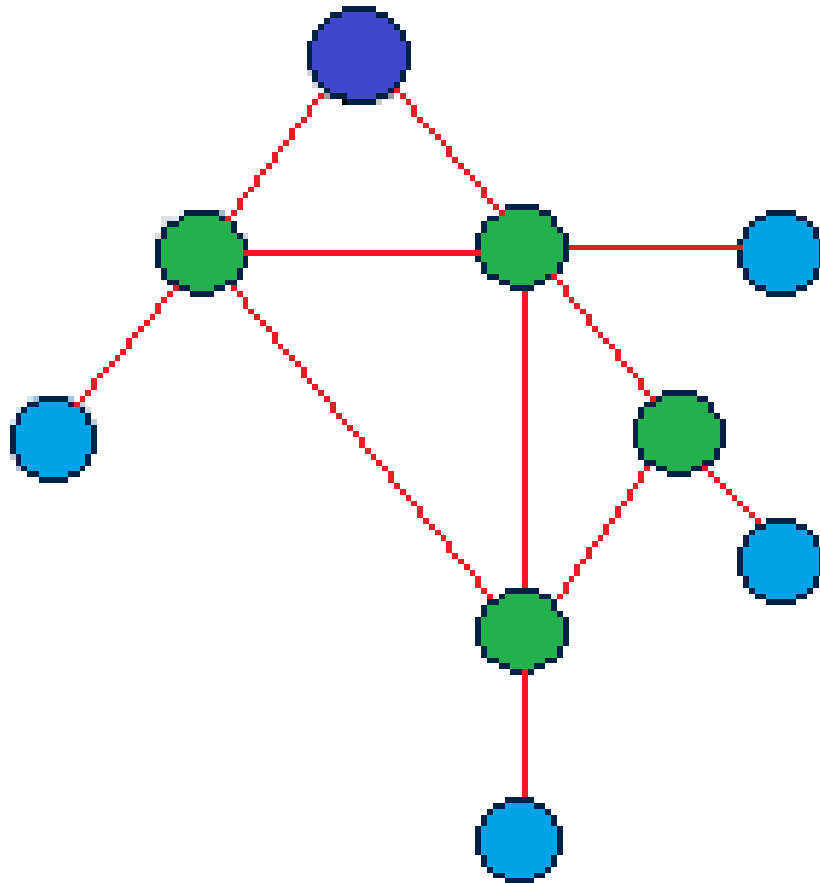


Рисунок 3.4 Кміркова топологія

В загальному випадку всі сенсори по функціоналу і рівню складності розбиваються на три класи. До найскладнішого класу належить найскладніший за будовою сенсор, який керує роботою всієї безпроводової сенсорної мережі, зберігає данні про її топологію, а також виступає в ролі шлюза для передачі даних, зібраних всією мережею, для подальшого опрацювання. Такий тип сенсорів називається мережевим координатором – Network Coordination Device (NCD). Він має найбільший об'єм пам'яті і джерело живлення. Зазвичай в сенсорних мережах використовується лише один координатор. Середній за складністю сенсор називається маршрутизатором або повнофункціональним пристроєм (FFD). Маршрутизатор може приймати і передавати данні, а також визначати напрямки передачі. Зазвичай має додаткову пам'ять і джерело живлення порівняно зі звичайним сенсором. До найпростішого класу належить

звичайний сенсор або пристрій зі скороченим набором функцій (RFD). Найпростіший сенсор може тільки передавати данні найближчому маршрутизатору. Маршрутизатор і сенсори, які передають йому данні утворюють собою кластер. Маршрутизатори різних кластерів передають данні між собою. В кінцевому підсумку ці данні повинні бути доставлені координатору. Координатор, який виступає в сенсорній мережі шлюзом, зазвичай, має зв'язок з IP-мережею, куди, в підсумку, і надсилаються данні для кінцевої обробки. На рисунку 3.5 зображений приклад топології безпроводової сенсорної мережі

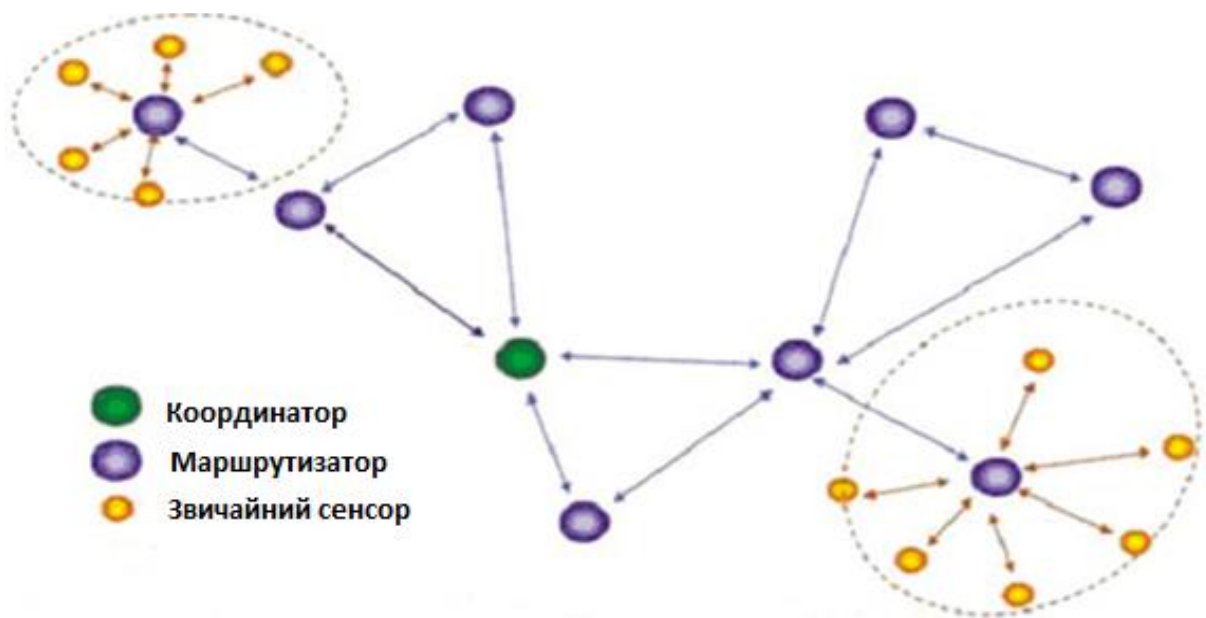


Рисунок 3.5 Приклад топології безпроводової сенсорної мережі

3.1.1 Фізична топологія проектованої безпроводової сенсорної мережі

Як було сказано вище, фізична топологія описує розташування вузлів і зв'язок між ними в мережі.

Експериментальна мережа складається з двох зон покриття («Сайт А» та «Сайт Б»), а також персонального комп'ютеру, який виступає в якості

окремого центру керування мережею, а також на якому реалізований сервер Blynk, який використовується для збору інформації з сенсорів, які можуть бути підключені в мережу. Цей ПК підключений звичайним кабелем неекранованою витю парою UTP до маршрутизатора MikroTik RB2011iL-IN (який в разі необхідності може виступати шлюзом для виходу в глобальну мережу). Також до даного маршрутизатора кабелем UTP підключена точка доступу MikroTik Groove A-52HPn, яка утворює першу зону покриття, а також до маршрутизатора підключена ще одна точка доступу MikroTik SXT Lite5. Дана точка доступу в режимі «точка-точка» в діапазоні 5 ГГц з'єднується з аналогічною точкою доступу MikroTik SXT Lite5, яка вже знаходиться в «Сайт Б». Дана точка доступу в «Сайт Б» також підключена кабелем UTP до маршрутизатора MikroTik RB750r2. До маршрутизатора кабелем UTP підключена ще одна точка доступу – MikroTik Groove A-52HPn, яка утворює другу зону покриття.

Також маршрутизатор і дві точки доступу в «Сайт А» підключені до акумуляторної батареї, яка забезпечує безперебійне енергоживлення цих пристроїв. Аналогічно маршрутизатор і дві точки доступу в «Сайт Б» живляться від аналогічної батареї.

У «Сайті А» підключені наступні бездротові пристрої: плата ESP8266 з Wi-Fi-інтерфейсом і відео-датчиком, а також Android-пристрій з клієнтом Blynk. В «Сайт Б» також підключений Android-пристрій з клієнтом Blynk.

На рисунку 3.6 зображена фізична топологія проекрованої сенсорної мережі з урахуванням логічних зв'язків.

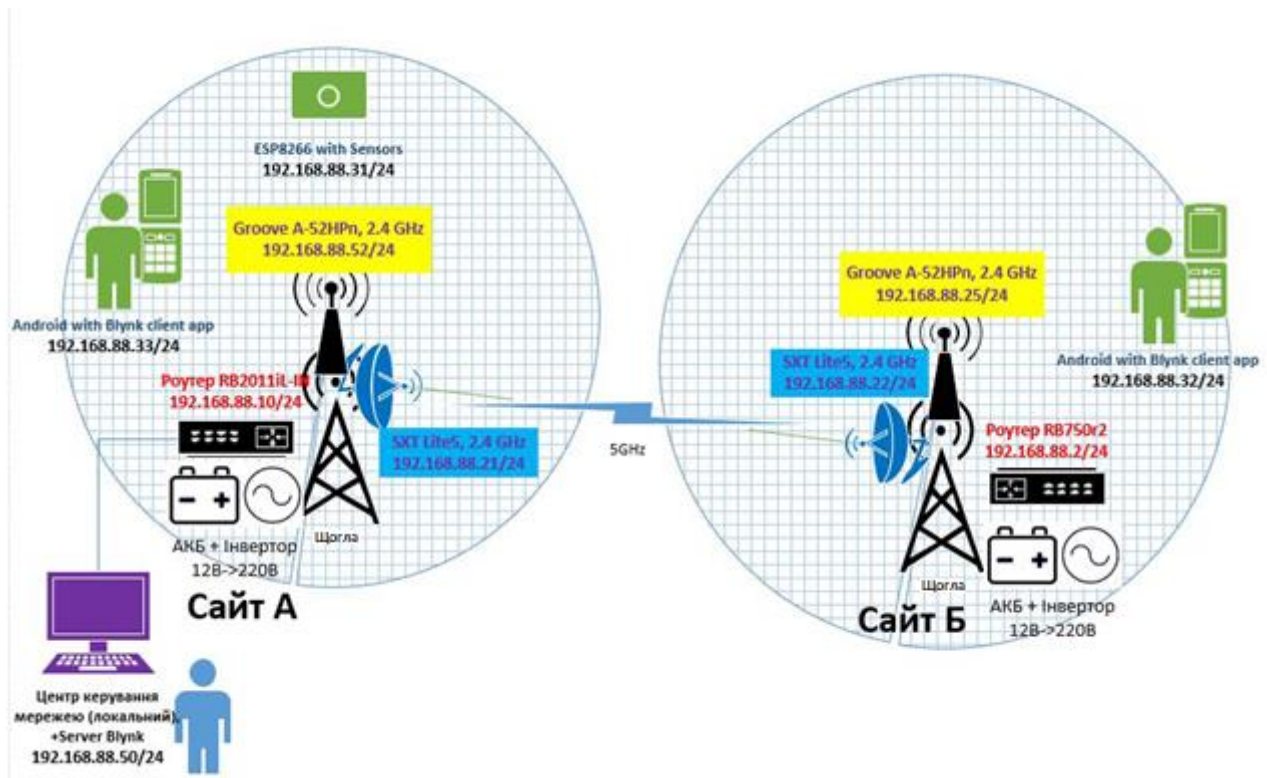


Рисунок 3.6 Фізична та логічна топологія проектованої мережі

3.1.2 Розрахунок зони покриття проектованої безпроводової сенсорної мережі

За технічними характеристиками точки доступу MikroTik SXT Lite5 може встановлювати з'єднання в режимі «точка-точка» з іншою точкою доступу на відстані до 2 кілометрів в діапазоні частот 5 ГГц при швидкості 54 Мбіт/с.

Для визначення дальності роботи безпроводового каналу зв'язку використаємо формулу:

$$D=10^{(FSL/20 - 33/20 - \lg F)}, \quad (3.1)$$

де D – відстань між двома точками (км);

FSL (free space loss) – втрати в вільному просторі (дБ);

F – центральна частота каналу, на якому працює система зв'язку (МГц).

FSL визначається сумарним підсиленням системи:

$$FSL = P_t + G_t + G_r + |P_{min}| - L_t - L_r - SOM, \quad (3.2)$$

де P_t – потужність передавача (дБмВт);

G_t – коефіцієнт підсилення антени передавача (дБі);

G_r – коефіцієнт підсилення антени приймача (дБі);

P_{min} – чутливість приймача на даній швидкості (дБмВт);

L_t – втрати сигналу в антено-фідерному тракті передавача (дБ);

L_r – втрати сигналу в антено-фідерному тракті приймача (дБ);

SOM (System Operating Margin) – запас в енергетиці радіозв'язку (дБ).

За характеристиками MikroTik SXT Lite5 при швидкості 54 Мбіт/с потужність передавача складає 23 дБмВт. чутливість приймача на даній швидкості -80 дБмВт. Оскільки на приймальній і на передавальній частині знаходяться однакові точки доступу, то коефіцієнт підсилення антени передавача і коефіцієнт підсилення антени приймача однакові – 16 дБі. Втрати сигналу в антено-фідерному тракті передавача візьмемо рівними 4 дБ, а параметр SOM береться рівним 15 дБ. Вважається, що цього значення достатньо для інженерного розрахунку.

Виходячи з цих даних, при центральній частоті каналу 5185 МГц можна визначити, що $D=1,75$ кілометра.

Аналогічним чином визначимо радіус зони покриття MikroTik Groove A-52HPn в діапазоні 2,4 ГГц, який має наступні технічні характеристики – потужність передавача 27 дБмВт, коефіцієнт підсилення всеспрямованої антени передавача 6 дБі. В якості приймача радіосигналу учасував ноутбук з коефіцієнтом підсилення антени 5 дБі, чутливість приймача -79 дБмВт.

В результаті вийшло, що радіус покриття $D=0,468$ кілометра, при центральній частоті каналу 2412 МГц.

За технічними характеристиками точки доступу MikroTik Groove A-52HPn з додатковою всеспрямованою антеною може покривати зону

радіусом близько 500 метрів проте на практиці в міських умовах вдалося досягти результату до 350 метрів, що відрізняється і від обчислених результатів, і від вказаних в характеристиці точки доступу. Різницю можна пов'язати з наявністю завад в місцевих умовах.

Таким чином, зони покриття «Сайт А» та «Сайт Б» мають радіус покриття 350 метрів (в теорії за підрахунками – майже 500 метрів) та можуть знаходитися одна від одної на відстані до 1,75 кілометра.

3.1.3 Логічна топологія проекрованої безпроводової сенсорної мережі

Всі пристрої в мережі об'єднані в одну IP-підмережу з префіксом, запис якого в десятково-точковому варіанті має наступний вигляд – 192.168.88.0/24, де 192.168.88.0 – адреса мережі, 24 – маска, яка використовується для розділення мережевої і хостової частини IP-адреси. Всім мережевим пристроям була надана певна IP-адреса з вільного діапазону. В таблиці 3.1 наводиться IP-адресація пристроїв в даній мережі, а також їх місцезонашування («Сайт А», «Сайт Б»).

Таблиця 3.1 IP-адресація пристроїв проекрованої мережі

Пристрій	Розташування	IP-адреса
MikroTik RB2011iL-IN	«Сайт А»	192.168.88.10
MikroTik Groove A-52HPn	«Сайт А»	192.168.88.52
MikroTik SXT Lite5	«Сайт А»	192.168.88.21
ПК з сервером Blynk	«Сайт А»	192.168.88.50
Плата ESP8266	«Сайт А»	192.168.88.31

Продовження таблиці 3.1

Android-пристрій з клієнтом Blynk	«Сайт А»	192.168.88.33
MikroTik RB750r2	«Сайт Б»	192.168.88.2
MikroTik Groove A-52HPn	«Сайт Б»	192.168.88.25
MikroTik SXT Lite5	«Сайт Б»	192.168.88.22
Android-пристрій з клієнтом Blynk	«Сайт Б»	192.168.88.32

3.2 Пропозиції щодо технічної реалізації безпроводової сенсорної мережі

3.2.1 Обґрунтування складу обладнання, яке використовується в мережі

До складу проектованої бездротової мережі входить наступне обладнання: Маршрутизатори MikroTik RB2011iL-IN та MikroTik RB750r2, дві точки доступу MikroTik Groove A-52HPn, а також дві точки доступу MikroTik SXT Lite5, плата ESP8266, декілька Android-пристрій з клієнтом Blynk, а також ПК з сервером Blynk.

Маршрутизатори та точки доступу були обрані завдяки їх технічним характеристикам, які чудово підходять для виконання поставлених завдань. В таблицях 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 наводиться опис технічних характеристик використаного обладнання.

Таблиця 3.2 Характеристики маршрутизатора MikroTik RB2011iL-IN

Характеристика	Значення
Розміри	228x97x25 мм

Продовження таблиці 3.2

Процесор	Atheros AR9344 600 МГц
Оперативна пам'ять (RAM)	64 MB DDR SDRAM
Роз'єми	5 × 10/100/1000 Mbit/s Ethernet RJ45 Auto-MDI/X 5 × 10/100 Mbit/s Ethernet RJ45 Auto-MDI/X
PoE вихід	порт №10 (500 мА)
Максимальна споживана потужність	до 6 Вт
Робоча температура	-35C to +65C

MikroTik RB2011iL-IN – професійний маршрутизатор з можливістю жити один пристрій по PoE (Power over Ethernet), а також сам може споживати енергію як по PoE, так і від джерела постійного живлення. Маршрутизатор містить 5 мережевих портів 100 Мбіт/с і 5 портів 1000 Мбіт/с, що є однією з переваг.

Таблиця 3.3 Характеристика маршрутизатора MikroTik RB750r2

Характеристика	Значення
Розміри	113x89x28 мм
Процесор	Atheros QCA9531-BL3A-R 850 МГц

Продовження таблиці 3.3

Оперативна пам'ять (RAM)	64 MB
Роз'єми	5 × 10/100 Mbit/s Ethernet RJ45
PoE вхід	Пасивний PoE (6-30 В)
Максимальна споживана потужність	до 2 Вт
Робоча температура	-40°C to 70°C

MikroTik RB750r2 – компактний маршрутизатор без підтримки технології Wi-Fi на п'ять мережевих портів. В середині маршрутизатора встановлений досить потужний одноядерний процесор, який працює на частоті 850 МГц і має 64 МБ оперативної пам'яті (Random Access Memory, RAM).

Таблиця 3.4 Характеристика точки доступу MikroTik Groove A-52HPn

Характеристика	Значення
Розміри	177 × 44 × 44 мм
Процесор	Atheros AR9342 600 МГц
Оперативна пам'ять (RAM)	64 MB DDR2
Роз'єми	1 × 10/100 Base-TX (Cat. 5, RJ-45) Ethernet 1 × N-type Male

Продовження таблиці 3.4

РoЕ вхід	Пасивний РoЕ (9-30 В)
Стандарти	802.11a/b/g/n
Режими роботи	Точка доступу, станція, точка-точка
Пропускна здатність	150 Мбіт/с
Частоти	2,4 або 5 ГГц (обирається програмно)
Робоча температура	-40°C to 70°C

MikroTik Groove A-52HPn – точка доступу для розміщення на території вулиці. Вона обладнана дводіпазонним радіомодулем, який здатний працювати на частоті 2,4 або 5 ГГц (одночасно на двох частотах не працює). Вихідна потужність Wi-Fi передавача складає 27 дБм (500 мВт). Пристрій працює в бездротових стандартах 802.11a/b/g/n з канальною швидкістю до 150 Мбіт/с. В комплекті з точкою доступу йде дводіпазонна всеспрямована антена. В пристрої встановлений процесор Atheros AR9342 з частотою 600 МГц, 64 МБ оперативної пам'яті і один Ethernet порт 100 Мбіт/с з підтримкою технології РoЕ.

Таблиця 3.5 Характеристика точки доступу MikroTik SXT Lite5

Характеристика	Значення
Розміри	140x140x56 мм
Процесор	Atheros AR9344 600 МГц
Оперативна пам'ять (RAM)	64 MB SDRAM

Продовження таблиці 3.5

Роз'єми	1 × 10/100 Base-TX (Cat. 5, RJ-45) Ethernet
PoE вхід	Пасивний PoE (8-32 В)
Стандарти	802.11a/n
Режими роботи	Станція, точка-точка
Пропускна здатність	300 Мбіт/с
Частоти	5 ГГц
Робоча температура	-40°C to 70°C

MikroTik SXT Lite5 – це бездротова точка доступу на 5 ГГц з підтримкою стандартів 802.11 a/n. На пристрою встановлений швидкий 600 МГц процесор Atheros AR9344 і великий об'єм оперативної пам'яті 64 Мбіт/с. Вихідна потужність Wi-Fi передавача становить 27 дБм (500 мВт). Живлення постачається на пристрій віддалено по технології PoE. Вологозахищений корпус дозволяє встановлювати точку доступу на території вулиці.

3.2.2 Обґрунтування послідовності налаштування маршрутизуючого, ретрансляційного обладнання та сенсорів

Налаштування проектованої мережі можна поділити на декілька частин: налаштування окремо «Сайту А» та «Сайту Б» і об'єднання їх в одну мережу, а також підключення до бездротової мережі сенсорів та інших пристроїв.

Кожен із пристроїв налаштовувався за допомогою ноутбуку, якому попередньо було статично прописано IP-адресу із діапазону 192.168.88.0/24, оскільки це необхідно для того, щоб отримати доступ на пристрої потрібно

бути у одній підмережі з ними (на пристроях MikroTik зазвичай IP-адреса за замовчуванням – 192.168.88.1). Всі налаштування здійснювалися через веб-інтерфейс налаштувань обладнання з допомогою веб-браузера.

Перш за все необхідно налаштувати маршрутизатор MikroTik RB2011iL-IN, який за необхідності може виконувати роль шлюза для з'єднання сенсорної мережі із зовнішнім світом. Перш за все потрібно обрати режим роботи «Router» і статично присвоїти IP-адресу згідно табл. 3.1 – 192.168.88.10/24. Від MikroTik RB2011iL-IN через LAN-порт підключений MikroTik Groove A-52HPn, використовуючи перехідник для подачі живлення по UTP кабелю PoE. MikroTik Groove A-52HPn налаштовується в режимі «Access Point», а також йому присвоюється IP-адреса 192.168.88.52/24. На цій точці доступу налаштована бездротова мережа, до якої будуть підключатися сенсори та Android-пристрої. Також від MikroTik RB2011iL-IN через LAN-порт, використовуючи перехідник для подачі живлення по UTP кабелю PoE, підключений MikroTik SXT Lite5. Він налаштований в режимі «Bridge», як сервер і йому присвоєно IP-адресу 192.168.88.21/24. На «Сайт Б» інший MikroTik SXT Lite5 також налаштовується в режимі «Bridge», але як клієнт і підключається до аналогічної точки на «Сайт А». Підключення відбувається в діапазоні 5 ГГц. Також йому статично присвоюється IP-адреса 192.168.88.22/24. З іншого боку MikroTik SXT Lite5 в «Сайт Б» використовуючи перехідник для подачі живлення по UTP кабелю PoE підключений до LAN-порту маршрутизатора MikroTik RB750r2. MikroTik RB750r2 працює в режимі «Router», а також йому присвоюється IP-адреса 192.168.88.2/24. До MikroTik RB750r2 через LAN-порт, використовуючи перехідник для подачі живлення по UTP кабелю PoE, підключений MikroTik Groove A-52HPn, який в свою чергу налаштовується в режимі «Access Point», з IP-адресою 192.168.88.25/24. На цій точці налаштовується друга Wi-Fi мережа, до якої будуть підключатися бездротові пристрої в «Сайт Б». Всі пристрої, які підключаються до Wi-Fi мережі в «Сайт А» та «Сайт Б»

отримують IP-адресу автоматично завдяки протоколу DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol).

3.3 Результати практичної реалізації безпроводової сенсорної мережі в польових умовах

При практичній реалізації бездротової сенсорної мережі спочатку було побудовано декілька зон покриття та об'єднано їх в єдину мережу за допомогою з'єднання «точка-точка». Потім вдалося підключити до цих зон декілька пристроїв за допомогою безпроводової технології Wi-Fi, а також передати дані з однієї зони в іншу для перевірки дієздатності і зв'язності мережі. В кінцевому етапі було підключено до проектованої мережі сенсори і завдяки blynk-серверу та blynk-клієнту вдалося зібрати з нього показники знаходячись в іншій зоні покриття.

Для забезпечення достатнього радіусу покриття обох зон, а також для з'єднання цих зон за допомогою топології «точка-точка» було побудовано 4 щогли. Це робилося для того, щоб піднести точки доступу вище рівня землі для зменшення впливу завад, що можуть знаходитися між точками, яких в міській локації надзвичайно багато. Щогла була побудована висотою 6 метрів у формі телескопічної палиці, тобто при складеному вигляді складає близько 2 метрів і швидко розкладається в повну висоту, процес побудови щогли зображено на рис.3.7. Одна щогла кріпиться трьома опорами з кілками, які вбиваються в землю для надійної фіксації та щоб уникнути впливу вітру. Точки доступу, які знаходяться на верхівці щогли закріплені за допомогою сталевих хомутів, які не дозволяють їм змінити свого положення та унеможливають вплив вітру. Таким чином вдалося досягти радіус зони покриття, який складає 350 метрів. На рисунку 3.8 та 3.9 зображені встановлені в міських умовах щоглу з закріпленою на ній точкою доступу MikroTik Groove A-52HPn, а також частину іншого обладнання - MikroTik

RB750r2, елементи живлення і ноутбук з blynk-сервером, яке не потрібно монтувати на щоглу.



Рисунок 3.7 Процес побудови щогли в лабораторії



Рисунок 3.8 Щогла з закріпленою точкою доступу



Рисунок 3.9 Частина обладнання у роботі в міських умовах

Все обладнання було попередньо налаштоване і перевірене в необхідному режимі роботи в лабораторних умовах.

Також для з'єднання точок доступу з маршрутизаторами були використані кабелі «вита пара» довжиною 9 метрів (6 метрів – висота щогли і до 3 метрів вздовж землі до маршрутизатора), які були попередньо підготовані в лабораторії.

В кожній із зон покриття діяла своя Wi-Fi мережа, створена точками доступу MikroTik Groove A-52HPn зі стандартом захисту WPA2 (Wi-Fi Protected Access) і протоколом шифрування AES, що забезпечує захист мережі від несанкціонованого доступу та можливого викрадення інформації.

Таким чином в польових умовах безпроводова сенсорна мережа була розгорнута в дуже короткі терміни. Всі завдання було виконано в повній мірі.

3.4 Рекомендації щодо модернізації досліджуваної мережі

Вибір обладнання, яке використовувалося при проектуванні експериментальної безпроводової мережі в основному базувався на економічних факторах та на вже наявному обладнанні. Для модернізації

мережі можна замінити маршрутизатори та точки доступу на більш потужні моделі. Наприклад, при використанні точок доступу з більш потужними передавачами, можна збільшити радіус покриття даної мережі, таким же чином можна збільшити відстань між різними зонами покриття.

До вже існуючих зон покриття «Сайт А» та «Сайт Б» можна додати ще одну, чи декілька, збільшивши загальний об'єм мережі. Для цього потрібно встановити додаткові точки доступу в «Сайт А» та умовному новому «Сайт В», які з'єднуватимуться між собою в режимі «точка-точка», потрібна також точка доступу, яка буде утворювати зону покриття в «Сайт В». Все нове обладнання потрібно налаштувати, об'єднавши у вже існуючу мережу.

Значно можна збільшити кількість сенсорів та їх функціонал (наприклад, збільшити кількість відео-датчиків, додати датчики звуку, температури тощо). Також за допомогою серверу та клієнту blynk можна знімати з них показники в реальному часі та вносити певні правки.

Для захисту мережі від фізичних пошкоджень необхідно розташовувати вузли в захищених місцях або в захисній оболонці. Також вузли повинні бути водонепроникні та вироблені з матеріалу, який здатний працювати в умовах високих температур. Зазвичай таке обладнання значно дорожче. Також для підвищення відмовостійкості потрібно використовувати кабелі, які мають додаткові оболонки захисту для забезпечення захисту від механічних пошкоджень. Для хімічного захисту кабелю (від води, газу, сонячного світла) використовують фольгу та поліетилен.

У проєктованій мережі обладнання, яке з'єднувало різні зони покриття і з'єднувалося топологією «точка-точка» знаходилося на щоглі, висотою 6 метрів. Проте при збільшенні відстані між цим обладнанням кількість завад може зрости. Враховуючи цей факт, а також для збільшення дальності зв'язку висоту обох щогл потрібно збільшити.

Важливим моментом для модернізації є забезпечення з'єднання сенсорної мережі з глобальною мережею. В проєктованій мережі це можна реалізувати завдяки маршрутизатору MikroTik RB2011iL-IN, який може

використовуватися в якості шлюза для внутрішньої мережі, а також з'єднуватися з уже наявними телекомунікаційними об'єктами для передачі даних, зібраних з сенсорів.

3.5 Висновок з розділу 3

1. Найбільш поширеними топологіями безпроводових сенсорних мереж є топологія зірка, деревоподібна топологія, коміркова топологія. Характерною особливістю даних топологій є наявність єдиного головного вузла – шлюза, на який спрямовується вся зібрана інформація з сенсорів.

2. При проектуванні безпроводової мережі запропоновано фізичну та логічну топології, обґрунтовано процедура налаштування необхідного обладнання і, як результат, після перевірки в лабораторних та польових умовах надані дані щодо розгорнутої сенсорної мережі в міському середовищі.

3. В підсумку встановлено зв'язок між пристроями, які знаходилися в різних зонах покриття мережі, а також здійснено керування сенсором із мобільного пристрою за допомогою спеціальної платформи.

4. За результатами практичних випробувань проведено порівняння зон покриття та зв'язку із результатами теоретичних обчислень. Порівняння показало, що розрахунково отримані значення зон покриття та зв'язку дуже близькі до заявлених в технічній документації у використаного обладнання. Також практичні результати трохи менші за отримані розрахунковим методом, що пов'язано з наявністю завад в міських умовах, а також наявністю інших джерел радіовипромінювання.

5. В результаті аналізу результатів можна запропонувати певні шляхи модернізації сенсорної мережі, такі як – розширення мережі шляхом збільшення зон покриття, збільшення кількості сенсорів та технічна модернізація елементів мережі.

ВИСНОВКИ

Роль телекомунікацій в кожній надзвичайній ситуації є фундаментальною. Завдяки продуманому, стратегічному та спільному підході, вони можуть бути ще більш ефективним засобом забезпечення своєчасного рятувального реагування або попередження виникнення надзвичайних ситуацій.

В даній роботі розглянуті технологічні риси безпроводових сенсорних мереж, проведено аналіз проблематики їх створення в зоні надзвичайної ситуації, розглянуто основні безпроводові технології, які використовуються для передачі даних в сенсорних мережах, а також топології безпроводових мереж, реалізовано експериментальну безпроводову сенсорну систему з інфокомунікаційними наземними вузлами, а також запропоновано шляхи модернізації сенсорних мереж .

Основними підсумками даної роботи є наступні:

- безпроводові сенсорні мережі завдяки ряду переваг, таких як швидкість розгортання, тривалий час автономної роботи в суворих умовах експлуатації, здатність продовжувати роботу після виходу з ладу одного чи декількох вузлів, можливість масштабування, можуть ідеально підійти для використання в зоні надзвичайної ситуації;
- попри те, що існує багато безпроводових технологій, які можуть використовуватися в сенсорних мережах, найбільш доцільно використовувати технологію Wi-Fi через ряд переваг, серед яких висока пропускна спроможність і система захисту інформації, що передається;
- в підсумку роботи реалізовано експериментальну сенсорну мережу з інфокомунікаційними наземними вузлами, теоретично розраховано зону покриття мережі та на практиці перевірено правильність

отриманих результатів, а також на практиці перевірено роботу мережі, зокрема, здатність керувати та збирати інформацію з сенсорів;

- основними напрямками модернізації сенсорної мережі є розширення мережі, шляхом збільшення зон покриття, збільшення кількості сенсорів та технічна модернізація елементів мережі.

Реалізація експериментальної безпроводової сенсорної мережі з інфокомунікаційними наземними вузлами дала змогу на практиці переконатися в основних її перевагах, а також запропонувати можливі шляхи її модернізації, які описані в даній роботі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кодекс цивільного захисту України [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17> [1]
2. Обзор современных технологий беспроводной передачи данных в частотных диапазонах ISM [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
https://wireless-e.ru/articles/technologies/2011_4_6.php
3. Сенсорные сети на основе беспроводных устройств [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<http://www.findpatent.ru/patent/254/2547449.html>
4. Network topology [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
https://en.wikipedia.org/wiki/Network_topology
5. Беспроводная сенсорная сеть [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://iot.ru/wiki/besprovodnaya-sensornaya-set>
6. Wi-Fi (wireless networking) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
https://www.webopedia.com/TERM/W/Wi_Fi.html
7. Гольдштейн, Б. С., Кучерявый А. Е. Сети связи пост-NGN – СПб.: БХВ-Петербург, 2014 – 160с.
8. Э. Таненбаум. Компьютерные сети. 4-е издание: СПб, 2008 – 992с.
9. Challenges of emergency communication network for disaster response [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://ieeexplore.ieee.org/document/6406204>
10. Analysis of optimal cluster number in heterogenous wireless sensor networks [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://ieeexplore.ieee.org/document/6406097>

11. RB2011iL-IN - MikroTik Routers and Wireless [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:
<https://mikrotik.com/product/RB2011iL-IN>
12. hEX lite - MikroTik Routers and Wireless [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:
<https://mikrotik.com/product/RB750r2>
13. Groove 52 - MikroTik Routers and Wireless [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:
<https://mikrotik.com/product/RBGroove52HPnr2>
14. SXT Lite5 - MikroTik Routers and Wireless [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:
<https://mikrotik.com/product/RBSXT5nDr2>
15. Karl H. and Willig A. Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks - John Wiley & Sons, 2005 – 524с.
16. Bluetooth: технология и ее применение [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:
<https://www.ixbt.com/mobile/review/bluetooth-2.shtml>
17. Группа стандартов WiFi IEEE 802.11 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:
<http://wi-life.ru/tehnologii/wi-fi/wi-fi-standarty>
18. Matthew Gast. Wireless Networks: The Definitive Guide - O'Reilly, 2002, 464с.
19. А. С. Дмитриев, В. А. Лазарев, М. И. Герасимов, А. И. Рыжов. Сверхширокополосные беспроводные нательные сенсорные сети – 2013, 11с.
20. Robin Heydon. Bluetooth Low Energy: The Developer's Handbook – Prentice Hall, 350с.
21. ZigBee - протокол передачи данных [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:
<https://xiaomi-smarthome.ru/zigbee/>
22. ESP8266 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:

<https://uk.wikipedia.org/wiki/ESP8266>

23. Баранова Е. IEEE 802.15.4 и его программная надстройка ZigBee – Телемультимедиа, 2008, 11с.

24. Edgar H. Callaway. Wireless Sensor Networks - CRC Press, 2003, 360с.

25. IEEE Standard for Local and metropolitan area networks. Part 15.6: Wireless Body Area Networks. N.Y.:IEEE, 2012.

26. IEEE P802.15. Wireless Personal Area Networks.N.Y.: IEEE, 2009

27. Wireless Sensor Networks and Applications [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:

https://www.researchgate.net/publication/317798885_WIRELESS_SENSOR_NETWORKS_AND_APPLICATIONS

28. IEEE 802.15.4 MAC User Guide. Atmel Corporation, USA, 2006

29. Ultra-wideband [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Ultra-wideband>

30. Twisted pair [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:

https://en.wikipedia.org/wiki/Twisted_pair

31. Беспроводные сети передачи данных (WLAN) [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:

<http://netwave.ua/ru/resheniya/setevaya-y-nfrastruktura/besprovodnye-sistemy-peredachi-dannyh/>

32. Mesh Network [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:

<http://ya-runningman.narod.ru/data/mesh.html>

33. Ромашкова О.Н., Дедова Е.В. Живучесть беспроводных сетей связи в условиях чрезвычайной ситуации – 2014, 4с.

34. Математический расчет дальности Wi-fi сигнала. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:

https://wifi-solutions.ru/matematiceskij_raschet_dalnosti_wi-fi_signal/